

и сиромы  
9-22  
69-70

62782V  
B-62  
у

МОСКОВСКИЙ  
Институтъ Инженеровъ Путей Сообщенія  
Императора НИКОЛАЯ II.

627  
т 908  
2/52

ВОДОПОДЪЕМНЫЯ ПЛОТИНЫ  
СИСТЕМЫ ШАНОАНА.

92

ПОСОБІЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ.

(На правахъ рукописи).

ВЫБОРКИ:

Изъ сочиненій De-Lagréné, De-Mas и Thomas Watt;

„ проекта шлюзованія р. Оки;

„ бюллетеней управленія работъ по улучшенію судоходныхъ условій р. Оки.

ПОДЪ ОБЩЕЙ РЕДАКЦІЕЙ

Н. Д. Тяпкина.

Текстъ съ отдѣльнымъ атласомъ въ 17 таблицъ чертежей.

И по

МОСКВА.

Типо-литографія В. Рихтеръ, Тверская, Мамоновскій пер., соб. домъ.  
1915.



О ПЛОТИНАХЪ ШАНОАНА ВЪ АМЕРИКЪ.



В. F. Thomas and D. A. Watt.  
The improvement of rivers.

New-York. 1905.







## I.

**Общая свѣдѣнія.** Подобно тому, какъ прототипомъ системы *Поаре* можно считать обыкновенную стоечную плотину, такъ и система *Шаноана* представляетъ собою не что иное, какъ только дальнѣйшее развитіе затворовъ съ горизонтальною осью вращенія, примѣнявшихся съ давняго времени въ Голландіи, а также и во Франціи на р. „Orb“ (1778), гдѣ щиты эти поставлены были на петляхъ, задѣланныхъ въ основаніе плотины.

Сначала *Thénard* добавилъ къ такому щиту раму, подкосъ и рейку, а потомъ *Шаноанъ* (въ 1852 году) приподнял ось вращенія къ серединѣ щита, и, такимъ образомъ, создались особый типъ плотины, извѣстный подъ названіемъ *Шаноана*; типъ этотъ до сего времени еще не претерпѣлъ никакихъ существенныхъ измѣненій.

**Описаніе.** Затворъ *Шаноана* представляетъ щитъ, подвѣшенный къ рамѣ на шарнирѣ, помѣщенномъ близко къ серединѣ щита, и подпертый въ стоячемъ положеніи подкосомъ, который упирается въ такъ называемую коробку, задѣланную въ кладку флютбета. Разъ подкосъ будетъ сдвинутъ съ своего упора (коробки), щитъ вмѣстѣ съ рамой и подкосомъ подъ дѣйствіемъ давленія воды опустится на флютбетъ.

Въ верхней части щита устраивается иногда вспомогательный щитокъ (калитка), вращающійся тоже на горизонтальной оси и удерживаемый въ плоскости главнаго щита особымъ замкомъ (щеколдой). Посредствомъ этой калитки можно въ извѣстныхъ предѣлахъ регулировать уровень воды въ бьефахъ, не прибѣгая къ помощи большихъ щитовъ. Запираніе и открываніе щитка легко достигается употребленіемъ особаго багра. Въ Америкѣ, однако, означенныя калитки не вошли въ употребленіе, такъ какъ онѣ не годятся въ тѣхъ случаяхъ, когда воды рѣки изобилуютъ большимъ количествомъ плавающихъ тѣлъ. Въ Европѣ же къ употребленію вспомогательныхъ щитковъ прибѣгаютъ: они устроены на р. Meuse и на плотинѣ въ Mulatière.

Суть идеи *Шаноана* заключалась въ томъ, что онъ помѣстил ось вращенія щита на высотѣ одной трети длины послѣдняго, т. е. въ центрѣ гидростатическаго давленія, влѣдствіе чего щитъ послѣ подъема воды до его верхней грани начинаетъ вращаться автоматически, пропускное отверстіе увеличивается, горизонтъ верхняго бьефа понижается и щитъ возвращается въ прежнее положеніе.

На этой именно идеѣ устроены были всѣ первыя плотины описываемаго типа. Подыманіе или установка щитовъ производились съ лодки, а опусканіе или укладка—при посредствѣ рейки съ пятками (запечиками). Однако векорѣ пришлось убѣдиться, что построенные такимъ образомъ щиты слишкомъ чувствительны; что они, открываясь съ большою легкостью, поднимаются далеко не сразу, а лишь при значительномъ пониженіи горизонта. Мало того, въ томъ случаѣ, когда одинъ напр. щитъ открытъ, при чемъ горизонтъ въ нижнемъ бьефѣ начинаетъ подыматься вмѣстѣ съ центрами давленія съ нижней стороны, остальные щиты открываются, причиняя чрезмѣрное пониженіе горизонта верхняго бьефа. Поэтому во всѣхъ плотинахъ болѣе поздней постройки оси щитовъ приподняты выше центра давленія, какъ объ этомъ будетъ сказано ниже.

Для достиженія возможной правильности функціонированія щитовъ къ нимъ примѣнялись постоянные или подвижные (скользящіе) грузы, что однако не дало благоприятныхъ результатовъ.

Кромѣ грузовъ, съ той же цѣлью въ 1865 г. на верхней Сенѣ были примѣнены къ нѣсколькимъ щитамъ водоспускнаго отверстія стопорныя цѣпи, одинъ конецъ которыхъ при-



крѣпится къ порогу плотины, а другой къ нижней части щита. При этомъ верхнимъ частямъ этихъ щитовъ была придана нѣсколько бѣльшая ширина для того, чтобы эти щиты открывались раньше остальныхъ. Длина стопорныхъ цѣпей была такъ рассчитана, чтобы щитъ при своемъ вращеніи не могъ отклониться отъ вертикали болѣе, чѣмъ на  $45^\circ$ , а слѣдовательно могъ легче возвращаться въ стоячее положеніе.

Первое время идея эта казалась весьма удачною, однако вскорѣ оказалось, что закрѣпленные такимъ образомъ щиты уменьшаютъ пропускное отверстіе, вслѣдствіе чего является необходимость въ болѣе частыхъ манипуляціяхъ, состоящихъ въ полной укладкѣ и подыманіи щитовъ. Подобнаго рода манипуляціи съ тяжелыми щитами, вообще говоря, очень затруднительны, и кромѣ того, очень опасны, такъ какъ совершаются съ лодки, обыкновенно при очень сильномъ теченіи.

Въ концѣ концовъ *de Lagrené* пришелъ къ заключенію, что для удобства управленія щитами *Шанаона* нуженъ служебный мостикъ, который, такимъ образомъ, долженъ считаться теперь какъ-бы необходимою частью плотины системы *Шанаона*.

**Размѣры.** Наиболѣе употребительная ширина щитовъ 3—4 фута. Между этими именно предѣлами колеблется ширина щитовъ въ Америкѣ. Разстояніе между отдѣльными щитами дѣлается равнымъ 3—4 дюймамъ; это необходимо вслѣдствіе vibraціи щитовъ и для облегченія подыманія ихъ и опусканія. Ширина щитовъ какъ для судоходныхъ отверстій такъ и для водоспускныхъ бываетъ обыкновенно одинакова, хотя для судоходнаго отверстія, гдѣ обыкновенно высота щита бываетъ болѣе значительна, ширину эту можно уменьшить. Такъ напр., на верхней Сенѣ судоходное отверстіе закрыто щитами высотой 11,8 фута, а шириною 3,3 фута; на водоспускномъ отверстіи высота 6,5 ф., а ширина 4,3 ф. Уголь, составляемый щитомъ съ вертикалью, при подкосѣ системы *Паско* (*Pasqueau*)—около  $20^\circ$ ; для щитовъ же съ рейкой уголь этотъ значительно меньше. Напускъ щитовъ на порогъ дѣлается въ 4—5 дюймовъ.

Обыкновенно щиты *Шанаона* устраиваются изъ дерева, составныя части щитовъ скрѣпляются болтами. Желѣзный щитъ впервые примѣненъ былъ къ плотинѣ при *Mulatière* около Лиона. Конструкція желѣзнаго щита позволяетъ выпустить на порогъ плотины только обшивку, а не ребра, что уменьшаетъ фильтрацію и чего нельзя достигнуть при деревянномъ щитѣ.

**Упорная коробка** состоитъ въ сущности изъ одного выступа и двухъ желобковъ, одинъ изъ которыхъ направляетъ нижній конецъ подкоса при подыманіи щита, пока подкосъ не встанетъ противъ выступа, а другой направляетъ свободный подкосъ, приводя его въ такое положеніе, при которомъ щитъ можетъ быть вновь приподнять. Опусканіе щитовъ до 1879 г. совершалось или при помощи особой рейки или простымъ сталкиваніемъ подкоса съ упора. Для облегченія послѣдняго приѣма подкосъ упирали въ слегка скошенную поверхность. Наибольшій допускаемый уголь скоса, найденный на основаніи многолѣтняго опыта на плотинѣ въ *Conflans* (во Франціи) равенъ  $3^\circ$ .

Потомъ инженеръ *Паско* примѣнилъ съ успѣхомъ двухъступенчатую коробку, снабженную двумя уступами. Щитъ подтягиваютъ слегка противъ теченія; при этомъ подкосъ соскакиваетъ съ перваго упорнаго выступа на второй, по которому направляется въ направляющій желобокъ коробки. Щитъ, не поддерживаемый болѣе подкосомъ, ложится на флютбетъ, и подкосъ, скользя по направляющимъ коробки, занимаетъ надлежащее положеніе.

Табл. III., фиг. 23.—Плотина на р. Meuse (въ Бельгіи), съ примѣненіемъ рейки (около 1876 г.).

Табл. III., фиг. 22.—Плотина *La Mulatière* на р. Saône близъ Lyons (1879 г.).

Табл. III., фиг. 21.—Плотина на р. Kanawha (1896 г.).

Табл. III., фиг. 20.—Плотина на р. Ohio (1899 г.).

**Рейка съ заплечинами** представляетъ подвижную рейку съ выступами, установленную вдоль оконечностей подкосовъ. Она приводится въ дѣйствіе при помощи привода, находящагося на быкѣ или устоѣ. Выступы рейки расположены такимъ образомъ, чтобы они могли сталкивать каждый подкосъ по очереди съ его упора. Флютбетъ долженъ быть покрытъ слоемъ воды, такъ какъ въ противномъ случаѣ неизбѣжны были бы поломки или поврежденія щитовъ при ихъ паденіи.

Величина хода рейки опредѣляется разстояніемъ между двумя подкосами за вычетомъ



ширины выступа, вслѣдствіе чего это приспособленіе примѣнимо для длинныхъ отверстій только при такомъ условіи, чтобы рейкой сталкивались подкосы не поодиночкѣ, а отдѣльными группами. Наибольшій предѣлъ дѣйствія рейки—160 футовъ, при чемъ рейка раздѣлена на двѣ части, работающія независимо одна отъ другой. Въ началѣ движенія заплечики рейки зацѣпляютъ только по одному подкосу, и только въ концѣ дѣйствія по нѣскольکو заразъ.

Описанное приспособленіе работало съ успѣхомъ много лѣтъ на р. Meuse, верхней Сенѣ и въ другихъ мѣстахъ. Нѣкоторыя неудобства, оказавшіяся при первыхъ опытахъ и заключавшіяся въ недостаточной силѣ механизма и въ отложеніи на рейкѣ гравелистыхъ наносовъ, препятствующихъ ея движенію, потеряли свое значеніе, когда двигательнымъ механизмамъ была придана сила 12—15 тоннъ.

Въ Америкѣ, однако, рейка не приобрѣла распространенія отчасти вслѣдствіе значительной ширины рѣкъ, на которыхъ строились плотины *Шаноана*, отчасти вслѣдствіе недостаточной прочности рейки и непрактичности ея конструкторціи; во Франціи рейка расположена надъ поверхностью флютбета, что способствуетъ складыванію подъ ней наносовъ, которые нарушаютъ правильность хода рейки. Тѣмъ не менѣе тѣ случаи, при которыхъ рейка была примѣнена, показали, что въ сущности она весьма полезное изобрѣтеніе, такъ какъ допускаетъ укладку щитовъ съ берега во время ледохода. Въ виду неудобствъ, причиняемыхъ наносами, рейкѣ можно придать плоское сѣченіе, напр.  $5 \times \frac{3}{4}$  дюйма, выступамъ ея или заплечикамъ можно придать изогнутый видъ и она можетъ быть совершенно утоплена въ кладку. Она можетъ катиться по роликамъ или скользить по поверхности коробокъ; послѣднее, пожалуй, удобнѣе, такъ какъ рамы могутъ быть занесены наносами или ломаться. Двигательный механизмъ долженъ быть достаточно сильнымъ и работать впередъ и назадъ, такъ какъ рейку необходимо передвинуть обратно послѣ того, какъ щиты будутъ уложены. Направляющія рейки, которыя могутъ быть прикрѣплены къ коробкѣ, должны быть такъ устроены, чтобы предотвратить вытягиваніе рейки.

Въ случаѣ примѣненія коробки *Паско*, что, конечно, весьма цѣлесообразно, такъ какъ рейка можетъ по тѣмъ или инымъ причинамъ не дѣйствовать, эта послѣдняя должна быть пропущена между уступами коробки; подкосъ при манипуляціи со щитами будетъ проходить надъ рейкой.

**Управление щитами.** Подъемъ щитовъ совершается обыкновенно со служебнаго мостика, расположеннаго противъ щитовъ съ напорной стороны и состоящаго изъ подвижныхъ фермъ, соединяющихся одна съ другой перекиднымъ мостикомъ, и рельсами, по которымъ двигается лебедка. Табл. I, фиг. 1.—Плотина „Port-à-l'Anglais“ на р. Seine (1870 г.), опускаемая помощью рейки.

Разстояніе между фермами 8—9 футовъ; мостикъ возвышается надъ напорнымъ горизонтомъ на 2—3 фута. Прежде всего подымаютъ фермы, выбирая при посредствѣ лебедки береговой конецъ цѣпи, которая соединяетъ голову каждой отдѣльной фермы съ краемъ мостика слѣдующей фермы, затѣмъ укрѣпляютъ надлежащимъ образомъ мостикъ и укладываютъ рельсы. Потомъ приступаютъ къ подъему щитовъ, подтягивая цѣпь, идущую отъ нижней части щита къ стойкѣ фермы. Когда подкосъ станетъ на свое мѣсто, цѣпь отдають и щитъ принимаетъ положеніе, близкое къ горизонтальному, вращаясь на оси рамы. Постепенно всѣ щиты могутъ быть такимъ образомъ подняты, при чемъ пропускное отверстіе плотины совсѣмъ не будетъ стѣснено. Послѣ этой подготовительной работы приводятъ щиты къ вертикальному положенію, а сила теченія прижимаетъ ихъ къ порогу; плотина закрыта. Приведеніе щитовъ къ вертикальному положенію достигается при помощи шеста или багра; въ случаѣ щитовъ значительныхъ размѣровъ прибѣгаютъ обыкновенно къ помощи лебедки. Другой приѣмъ состоитъ въ томъ, что одинъ или два человѣка отправляются пѣшкомъ по флютбету вдоль щитовъ и накрениваютъ ихъ по очереди, работая такъ, пока не воспрепятствуетъ этому теченіе воды, потомъ вскакиваютъ на ближайшій щитъ и продолжаютъ свою работу до конца. Приѣмъ этотъ, конечно,—весьма опасный: въ случаѣ паденія человѣка въ воду, онъ можетъ попасть между стоекъ рамы и утонуть.

Для регулированія горизонта воды можно или уложить на флютбетъ нѣсколько щитовъ, или привести ихъ къ горизонтальному положенію, удерживая ихъ при посредствѣ вышеупомянутыхъ цѣпей, которыя въ этомъ случаѣ зачаливаются къ стойкамъ фермы.



Въ тѣхъ случаяхъ, когда уровень верхняго бьефа вслѣдствіе большого расхода черезъ зазоры между щитами начинаетъ чрезмѣрно падать, промежутки между щитами закрываются брусками квадратнаго сѣченія, устанавливаемыми діагонально.

Опусканіе или укладка щитовъ совершается или при посредствѣ вышеописанной рейки, сталкивающей подкосы съ упорной коробки, или, въ случаѣ системы *Паско*, при посредствѣ лебедки (со служебнаго мостика или съ лодки), которой набирается цѣпь щита, пока подкосъ не соскочитъ со своего упорнаго выступа и не попадетъ въ направляющіе желоба коробки, послѣ чего щитъ самъ по себѣ падаетъ. Таковъ пріемъ со щитами, закрывающими отверстія плотины; щиты же судоходнаго отверстія, давленіе на которые становится уже незначительнымъ послѣ открытія водоспускнаго отверстія, укладываются просто, подтягивая багромъ верхъ щита до тѣхъ поръ, пока подкосъ не соскользнетъ въ направляющій желобокъ, что значительно ускоряетъ производство манипуляцій. Затѣмъ цѣпи отъ щитовъ закрѣпляются къ фермамъ и фермы въ свою очередь укладываются на флютбетъ.

Въ томъ случаѣ, когда рейка находится въ неисправности, опусканіе щитовъ производится съ лодки подтягиваніемъ щита вверхъ, пока подкосъ не отойдетъ отъ упорной подушки, затѣмъ съ другой лодки ниже щитовъ багромъ сталкиваютъ подкосъ въ сторону къ желобку коробки, и щитъ падаетъ.

Плотина на р. *Meuse*, въ Бельгіи, построенная въ 1876 г., въ деталяхъ представлена на Табл. II, фиг. 8, 9, 10, 11, Табл. III, фиг. 23.

Плотина „*la Mulatière*“ (Табл. II, фиг. 7, 18, 19, Табл. III, фиг. 22), построенная во Франціи близъ Ліона при впаденіи Саоны въ Рону, представляетъ наиболѣе усовершенствованный типъ системы *Шаноана*. Плотина эта возведена подъ управленіемъ инженера *Паско*, который примѣнилъ здѣсь свою двухступенчатую коробку, получившую затѣмъ широкое распространеніе.

Длина судоходнаго отверстія этой плотины 340 футовъ; щиты устроены изъ желѣза 4,6 фут. ширины и 14,25 фута длины; каждый щитъ снабженъ калиткой размѣрами 2,9×5,1 фута, приводится въ дѣйствіе обыкновеннымъ способомъ. Толщина обшивки  $\frac{3}{16}$  дюйма.

Манипуляціи со щитами производятся при помощи паровой лебедки, передвигающейся по служебному мостику на фермахъ; настилъ мостика возвышается надъ уровнемъ напорнаго горизонта на 6½ футовъ. Разстояніе между фермами 9,8 фута, высота ихъ 22,3 фута, ось фермъ была замѣнена болтами, вслѣдствіе чего оказалось возможнымъ высотъ углубленія за порогомъ придать величину 28 дюймовъ вмѣсто 4 футовъ.

Здѣсь же впервые примѣнена паровая лебедка вмѣсто ручной. Вообще устройство этой плотины оказало большое вліяніе на послѣдующія сооруженія такого же рода.

**Американскія плотины.** Въ настоящее время въ Америкѣ только одна рѣка *Капавъа* (въ Западной Виргиніи) оборудована окончательно щитовыми плотинами, число коихъ восемь при напорѣ отъ 6½ до 8½ футъ, при длинѣ водоспускныхъ отверстій отъ 210 до 364 футовъ и судоходныхъ отверстій отъ 248 до 304 футовъ. Вся система, исполненная въ періодъ между 1880 и 1898 годами, съ добавленіемъ двухъ глухихъ плотинъ допускаетъ шести футовую осадку на протяженіи 90 миль.

Всѣ плотины устроены по образцу Европейскихъ съ такими, какъ выше описано, служебными мостиками и лебедками. Ширина флютбета 55 футовъ, длина его между устоями 342 фута. Табл. I, фиг. 2, 3 и 4. Табл. II, фиг. 6, 12, 13. Табл. III, фиг. 21.

За послѣднее время устроена цѣлая система шлюзовъ и щитовыхъ плотинъ на рѣкѣ *Огіо*. Одна изъ этихъ плотинъ находится около г. Питсбурга и состоитъ изъ одного судоходнаго отверстія длин. 719 фут. и двухъ водоспускныхъ общей длиною 1220 футовъ, закрываемыхъ щитами *Шаноана*. Ширина послѣднихъ 4 фута, управленіе ими совершается по системѣ *Паско*. Табл. I, фиг. 5. Табл. II, фиг. 6, 14, 15, 16, 17. Табл. III, фиг. 20.

Маневры со щитами судоходнаго отверстія производятся съ лодки при посредствѣ паровой лебедки. Подъемный канатъ прикрѣпленъ къ багру, которымъ и захватываютъ низъ щита. Для укладки щитовъ верхнюю часть щита подтягиваютъ противъ теченія, пока подкосъ не соскочитъ съ выступа коробки, затѣмъ щитъ отпускаяютъ и онъ ложится по направленію теченія на свое мѣсто. Щиты одного изъ водоспускныхъ отверстій управляются тоже съ лодки, а другого со служебнаго мостика. Описанная плотина имѣетъ глухой водосливъ длиною 52 фута, помѣщающійся между судоходнымъ отверстіемъ и однимъ изъ водоспускныхъ и глухую плотину, ко-



торая отдѣляется отъ второй водоспускной островомъ. Ширина шлюза 110 футовъ, а длина его между воротами 600 футовъ, напоръ при нормальномъ горизонтѣ 6,1 фута.

**Разсчетъ фермы.** Фермы, устраиваемыя при щитахъ *Шаноана*, подвергаются главнымъ образомъ дѣйствию усилій только двоякаго рода: усилій, являющихся при подыманіи и опусканіи щитовъ, и усилій отъ дѣйствія вѣса телѣжки съ лебедкой. Въ виду этого типъ этихъ фермъ отличается отъ типа фермъ *Поаре*.

Значеніе усилій перваго рода можетъ быть опредѣлено лишь приблизительно. Оно достигаетъ своего maximum'a въ томъ случаѣ, когда приходится подымать щитъ при высокомъ горизонтѣ и при сильномъ теченіи. При такихъ обстоятельствахъ перѣдко лебедка не въ состояніи сдвинуть щитъ съ мѣста. Но тогда и значеніе дѣйствующихъ усилій не можетъ быть меньше силы лебедки. Силу же лебедки обыкновенно принимаютъ равной  $\frac{2}{3}$  полного давления на щитъ, помноженнымъ на *Sec* угла, составляемаго направлениемъ этого давления съ направлениемъ подъемной цѣпи. Величины этого угла при обоихъ положеніяхъ щита—лежащемъ и стоящемъ—могутъ считаться одинаковыми, разность между ними весьма незначительная.

Такимъ образомъ, согласно чертежу (Табл. III фиг. 24), натяженіе цѣпи равно  $\frac{2}{3} P \cdot \sec \beta$ , гдѣ  $P$ —полному давленію на щитъ, а  $\beta$ —уголъ между направлениемъ цѣпи и силы  $P$ . При этомъ предполагается наиболѣе неблагоприятный случай—отсутствіе давленія съ задней стороны щита. Потребныя для опусканія щитовъ усилія гораздо больше на водоспускныхъ плотинахъ, такъ какъ съ нихъ обыкновенно начинается опусканіе щитовъ, и когда очередь дойдетъ до судоходнаго отверстія, разность между горизонтами нижняго и верхняго бьефовъ уже становится меньшей. Сила лебедки должна быть разсчитана съ большимъ запасомъ такъ же впрочемъ, какъ и прочность фермы, такъ какъ перѣдко приходится опускать щиты, занесенные иломъ или пескомъ.

Для опредѣленія напряженій въ частяхъ фермы, предположимъ, что сила тяги проходитъ черезъ точку  $D$ , гдѣ она разлагается на двѣ составляющихъ  $Q$  и  $R$ , направленныхъ по  $AD$  и  $DC$ . Взявъ моментъ этихъ силъ относительно точки  $C$ , получимъ

$$Q \times d = AB \times CJ, \text{ или } AB = \frac{Q \times d}{CJ} \text{ (сила растягивающая).}$$

Тоже-относительно точки  $B$ , получимъ

$$Q \times d = AC \times BK, \text{ или } AC = \frac{Q \times d}{BK} \text{ (сила сжимающая).}$$

Реакція въ точкѣ  $B$  равна  $AB \times \cos \gamma$ , гдѣ  $\gamma$ —уголъ передней стойки съ вертикалью.

Фермамъ *Поаре*, для достиженія возможно большей ихъ жесткости, придаютъ, какъ извѣстно, сѣченія значительно сильнѣе разсчетныхъ. Только изъ практическихъ данныхъ можно почерпнуть лучшія указанія въ этомъ смыслѣ. Такъ напримѣръ на р. Meuse при напорѣ въ  $7\frac{1}{2}$  футовъ фермы имѣютъ видъ Андреевскаго креста изъ полосового желѣза сѣченіемъ  $1\frac{1}{2} \times 2$  дюйма. На р. Саонѣ фермы высотой 13 футовъ построены изъ коробчатаго желѣза шириною  $2\frac{1}{2}$  дюйма. На рѣкѣ Kanawha фермы высотой 16 футовъ 9 дюймовъ и 11 футовъ 9 дюймовъ построены по типу показанному на фиг. 24 Табл. III, при чемъ стойкѣ  $DC$  болѣе высокихъ фермъ придано сѣченіе изъ двухъ полосъ коробчатаго желѣза шириною 4" 9", остальные же части фермы устроены изъ одной полосы такого же желѣза; той же стойкѣ въ фермахъ меньшей высоты придано двутавровое сѣченіе 3" 9", остальные же части устроены изъ одной полосы коробчатаго желѣза 3" 6". Разстояніе между отдѣльными фермами 8 футовъ.

Стойки фермъ плотины La Mulatière у Ліона, поддерживающія грузъ паровой лебедки, устроены также въ видѣ Андреевскаго креста, при чемъ всѣ части фермы составлены изъ швеллеровъ шириною  $5\frac{1}{2}$ ". Разстояніе между отдѣльными фермами 9,8 футовъ, высота фермъ 22', ширина основанія фермы 11' 6".

**Рама и поднось.** Для опредѣленія максимальнаго дѣйствія силъ на щитъ предположимъ, что черезъ верхнее ребро щита переливается слой воды толщиною  $d$ , и что сзади щита воды нѣтъ вовсе. На практикѣ значеніе  $d$  можетъ мѣняться въ предѣлахъ отъ 0 до  $1\frac{1}{2}$  фута. Итакъ, пусть (фиг. 25. Табл. III):



$H$ —высота воды надъ порогомъ  
 $d$ —толщина переливающегося слоя воды  
 $w$ —ширина щита въ футахъ  
 $P$ —полное давленіе воды  
 $Q$ —составляющая этого давленія въ точкѣ  $B$

$S$ —сила, передающаяся на подкосъ  
 $T$ — „ „ „ на раму  
 $\alpha, \beta$  и  $\gamma$ —углы, обозначенные на чертежѣ  
 $k$ —разстояніе центра давленія до порога  
 $l$ —разстояніе точки вращенія до порога

$$\text{Тогда } P = w \times H \sec \alpha + 62\frac{1}{2} \text{ lbs} \times \left( \frac{H}{2} + d \right) ^*)$$

Значеніе  $k$  можемъ опредѣлять, разсматривая  $P$ , какъ равнодѣйствующую давленій (фиг. 26. Табл. III).

$$P = P' + P'' = dwH \sec \alpha \times 62\frac{1}{2} \text{ lbs} + wH \sec \alpha \times \frac{H}{2} \times 62\frac{1}{2} \text{ lbs}$$

Затѣмъ, взявъ моменты этихъ силъ относительно точки  $C$ , получимъ

$$Pk = P' \frac{H \sec \alpha}{2} + P'' \frac{H \sec \alpha}{3} = w \frac{H^2 \sec^2 \alpha}{2} \left( d + \frac{H}{3} \right) \times 62\frac{1}{2} \text{ lbs}$$

Откуда

$$k = \frac{wH^2 \sec^2 \alpha}{2P} \left( d + \frac{H}{3} \right) \times 62\frac{1}{2} \text{ lbs} = \frac{H(H + 3d) \sec \alpha}{3(H + 2d)}$$

Для опредѣленія  $Q$  возьмемъ моментъ этой силы относительно точки  $C$

$$Ql = Pk \text{ или } Q = \frac{wH^2 \sec^2 \alpha}{2l} \left( d + \frac{H}{3} \right) \times 62\frac{1}{2} \text{ lbs}$$

Но стороны треугольника относятся какъ Sinусы угловъ противолежащихъ, а потому

$$S = \frac{Q \sin (90^\circ + \alpha - \beta)}{\sin (90^\circ - \alpha - \gamma + \beta)} = \frac{Q \cos (\alpha - \beta)}{\sin (90^\circ - \alpha - \gamma + \beta)} \text{ и } T = \frac{Q \sin \gamma}{\sin (90^\circ - \alpha - \gamma + \beta)}$$

Давленіе щита на порогъ въ точкѣ  $D$  равно  $P - Q$ , а вытягивающее усиліе въ той же точкѣ равно  $T \cos \beta$ .

Въ приведенныхъ расчетахъ не было принято во вниманіе давленіе съ задней стороны щита, т. е. разсмотрѣнъ былъ наиболѣе неблагопріятный случай. Выше было указано, что при помѣщеніи оси вращенія щита на нѣкоторой высотѣ, опредѣленной по опыту, щитъ не можетъ не только опрокинуться самъ собою, но остается въ покоѣ при уровнѣ возвышающемся на 12—18 дюймовъ надъ его верхнимъ ребромъ. Последнее условіе оказывается весьма полезнымъ не только въ случаѣ внезапныхъ паводковъ, но и тогда, когда для перегруженныхъ судовъ требуется на короткое время нѣкоторый излишекъ воды на фарватерѣ.

При сліяніи двухъ рѣкъ бываетъ, что въ то время, когда горизонтъ воды притока остается въ нормальномъ положеніи уровень воды главной рѣки вслѣдствіе мѣстныхъ паводковъ подымается. Въ такомъ случаѣ весьма важно, чтобы щиты ближайшей плотины на притокѣ продолжали сохранять свое положеніе все время, пока горизонты обѣихъ рѣкъ не сравниваются, для чего необходимо ось вращенія подкоса расположить на опредѣленной высотѣ. Если это обстоятельство не будетъ принято во вниманіе щиты могутъ сами собою опрокинуться, причемъ подпорный горизонтъ понизится, и глубина у входа въ шлюзъ и на меляхъ верхняго бьефа окажется не достаточной для судоходства. Подобныя явленія наблюдались неоднократно и послѣдствія ихъ отражались весьма неблагопріятно на судоходствѣ.

Для опредѣленія той высоты точки вращенія подкоса, при которой щитъ не можетъ измѣнить своего положенія при измѣненіи горизонта въ нижнемъ бьефѣ, положимъ, что величины  $P$ ,  $H$ ,  $d$  и проч. имѣютъ тѣ же значенія, какъ и выше, и что  $h$ —высота горизонта воды съ задней стороны щита, а  $R$  соотвѣтствующее этой высотѣ давленіе (фиг. 27. Табл. III).

$$\text{Тогда } R = wh \sec \alpha \times 62\frac{1}{2} \text{ lbs} \times \frac{h}{2} = \frac{wh^2}{2} \sec \alpha \times 62\frac{1}{2} \text{ lbs}$$

Моментъ  $R$  относительно точки  $C$ :

$$R \times \frac{h \sec \alpha}{3} = \frac{wh^3 \sec^2 \alpha \times 62\frac{1}{2} \text{ lbs}}{6}$$

\*)  $62\frac{1}{2} \text{ lbs}$ —вѣсъ англійскаго куб. фута воды въ англійскихъ фунтахъ; для метрическихъ мѣръ формула приметъ видъ

$$P = wH \sec \alpha \left( \frac{H}{2} + d \right)$$



Щитъ будетъ въ равновѣсіи, если равнодѣйствующая  $Q'$  силъ  $P$  и  $R$  пройдетъ черезъ точку  $B$ . Равнодѣйствующая  $Q' = P - R$  или

$$wH\sec\alpha \times 62\frac{1}{2} \text{ lbs} \left( \frac{H}{2} + d \right) - wh\sec\alpha \times 62\frac{1}{2} \text{ lbs} \frac{h}{2} = w\sec\alpha \times 62\frac{1}{2} \text{ lbs} \left( \frac{H^2}{2} + dH - \frac{h^2}{2} \right).$$

Взявъ моменты этихъ силъ относительно точки  $C$ , получимъ  $Q'l' = Pk - R\frac{h\sec\alpha}{3}$  или

$$l' = \frac{3Pk - R h \sec\alpha}{3Q'}$$

Подставляя, согласно предыдущему, въ эту формулу опредѣленные выше значенія величинъ  $P$ ,  $k$ , и др. получимъ

$$\begin{aligned} l' &= \frac{\frac{wH^2\sec^2\alpha(3d+H) \times 62\frac{1}{2} \text{ lbs}}{2} - \frac{wh^3\sec^2\alpha \times 62\frac{1}{2} \text{ lbs}}{2}}{3w\sec\alpha \times 62\frac{1}{2} \text{ lbs} \left( \frac{H^2}{2} + dH - \frac{h^2}{2} \right)} = \\ &= \sec\alpha \times \frac{H^2(H+3d) - h^3}{3(H^2 + 2dH - h^2)}. \end{aligned}$$

Итакъ для того, чтобы щитъ могъ находиться въ устойчивомъ положеніи при разсмотрѣнныхъ условіяхъ, необходимо, чтобы ось вращенія подкоса находилась на разстояніи не менѣе  $l'$  отъ флютбета.

На плотинахъ болѣе ранней постройки ось вращенія щита расположена чуть-чуть выше  $\frac{1}{2}$  высоты щита. Однако позднѣе было признано, что, хотя при этомъ и достигается полная чувствительность щита, который самъ собою приходитъ во вращеніе при самыхъ незначительныхъ измѣненіяхъ горизонта воды, тѣмъ не менѣе съ этимъ связано внезапное пониженіе подпорнаго горизонта и вообще нежелательное нарушеніе требуемыхъ стояній уровней воды въ бьефахъ. Въ виду этого на верхней Сенѣ и на другихъ рѣкахъ, шлюзованныхъ въ періодъ между 1860 и 1870 годами, оси вращенія щитовъ расположены надъ порогами щита на 0,42 длины; на судоходномъ отверстіи плотины Port à l'Anglais около Парижа (1870 г.) ось эта была приподнята на 0,47 длины щита, на плотинѣ La Mulatière (1879 г.) — на 0,50 длины щита. На водоспускныхъ отверстіяхъ плотинъ на р. Kanawha ось вращенія щитовъ взята на 0,42 длины щита, и на судоходныхъ отверстіяхъ — на 0,47 надъ порогомъ. *De Lagrené* совѣтуетъ устанавливать ось вращенія на половинѣ высоты надъ порогомъ на судоходныхъ отверстіяхъ и на  $\frac{1}{2}$  съ чѣмъ нибудь — въ водоспускныхъ отверстіяхъ.

**Рама.** Первоначально въ плотинахъ, при которыхъ управленіе щитами совершалось при посредствѣ рейки, рамѣ придавали незначительный уклонъ противъ теченія; позднѣе, когда примѣнена была коробка *Паско*, положеніе рамы измѣнилось, ей необходимо было придать уклонъ по теченію; уклонъ этотъ долженъ быть такой величины, чтобы, при подтягиваніи щита рама не приходила въ вертикальное положеніе, т. е. чтобы направленіе силы тяжести щита проектировалось ниже (по теченію) рамы; иначе при укладкѣ щитовъ возможны различныя случайности. Для вполнѣ свободнаго движенія рамы діаметръ ея подшипниковъ долженъ быть полнѣе діаметра оси на  $\frac{1}{32}'' - \frac{1}{16}''$ , что въ то же время предохранитъ ихъ отъ образованія ржавчины.

Поперечное сѣченіе рамы, рассчитанное на растягивающую силу  $T$  и на силу тяги цѣпи при подыманіи щитовъ, слишкомъ мало; напряженія въ рамѣ, вызываемыя дѣйствіемъ теченія, скручивающими усиліями и пр., требуютъ для рамы болѣешихъ размѣровъ. Вообще при проектированіи рамы надежнѣе всего руководствоваться практическими данными. Верхняя крестообразнаго вида часть рамы въ томъ мѣстѣ, гдѣ къ ней примыкаетъ подкосъ, должна быть запроектирована съ такимъ запасомъ прочности, чтобы она могла сопротивляться изгибающему моменту отъ подкоса; моментъ этого усилія равенъ  $\frac{T}{2} \times \frac{f}{2}$ , гдѣ  $f$  — разстояніе между двумя стойками рамы. Иногда эта часть рамы устраивается съ выступами вверху, служащими под-



шипниками для оси подкоса. Способъ этотъ въ сущности не можетъ быть одобренъ; здѣсь являются скручивающія усилія и увеличивается стоимость рамы. Ниже приведемъ размѣры существующихъ рамъ.

**Подкосъ.** Сила  $S$ , дѣйствующая на подкосъ, сжимаетъ его; поэтому подкосъ можно разсматривать, какъ нагруженную вертикальную колонну.

Сначала задаются произвольными размѣрами. Если  $r$  означаетъ радіусъ сѣченія подкоса въ дюймахъ,  $l$ —длину подкоса въ футахъ, то нижеприведенная обычная для колоннъ формула даетъ величину напряженія въ футахъ на квадратный дюймъ  $\frac{50000}{1 + \frac{(12)^2}{18000r^2}}$ <sup>1)</sup>

Такъ же какъ и для рамы, сѣченіе для подкоса должно удовлетворять запасу прочности. Такъ напримѣръ, на плотинѣ въ Port à l'Anglais допущенное для подкоса напряженіе—только 1600 *lbs* на квадратный дюймъ. Осевое отверстіе въ головѣ подкоса просверлено съ запасомъ  $\frac{1}{8}$ " —  $\frac{3}{16}$ " для того, чтобы подкосъ могъ перемѣщаться въ сторону при своемъ скользяніи вдоль направляющихъ коробки.

Нижней части подкоса придаютъ обыкновенно значительно увеличенное сѣченіе, дабы увеличить вѣсъ подкоса. Однако въ виду того, что значительное увеличеніе вѣса подкоса признано было излишнимъ даже на водоспускныхъ отверстіяхъ съ 8-ми футовымъ напоромъ, не смотря на то, что сила теченія въ этихъ отверстіяхъ гораздо больше, нежели въ судоходныхъ, казалось бы, что для послѣднихъ можно было ограничиться и уменьшенными размѣрами сѣченія нижней части подкоса

#### Размѣры подкосовъ.

Названіе мѣстности.	Глубина на порогѣ.	Діаметръ подкоса.	Длина подкоса.
Судоходное отверстіе въ Port à l'Anglais въ Парижѣ . . . . .	11' 10"	3 $\frac{1}{2}$ "	11' 10"
Судоходное отверстіе на верхней Сенѣ.	9' 10"	3 $\frac{1}{2}$ "	8' 10"
Водоспускное отверстіе на р. Meuse въ Бельгіи . . . . .	около 7' 5"	3 $\frac{1}{2}$ "	6' 3"
Судоходное отверстіе на рѣкѣ Kanawha въ Соединенныхъ Штатахъ . . . . .	13' 0"	3 $\frac{5}{8}$ "	12' 8"
Водоспускное отверстіе. Тамъ же. . . . .	8' 6"	3"	7' 10"
Судоходное отверстіе на рѣкѣ Огіо въ Соединенныхъ Штатахъ . . . . .	13' 2"	3 $\frac{1}{2}$ "	14' 7"

<sup>1)</sup> Для колонны, поддерживающей валъ

$$\frac{P}{\omega} = \frac{R}{1 + \frac{l^2 \alpha}{\pi^2 \varrho^2}} \quad \text{или} \quad \frac{R}{1 + \alpha \left( \frac{l}{\varrho} \right)^2}, \quad \text{гдѣ } R \text{—основное допуск. напр. на сжатіе; } l \text{—длина; } \varrho \text{—радіусъ инерціи, } \alpha \text{—коэф.,}$$

зависящій отъ матер. и способа закрѣпл. бруса.



Р а з м ѣ р ы р а м ы.

Названіе мѣстности.	Глубина на порогѣ.	Связи.	Діаметръ верх. осей.	Діаметръ нижн. осей.	Стойки.
Судоходное отверстіе въ Port à l'Anglais, Парижъ, 1870 г.	11' 10"	Двѣ гори- зонтальн.	На срединѣ 5" на концахъ 2 <sup>1</sup> / <sub>3</sub> "	На срединѣ 3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> " на концахъ 2 <sup>1</sup> / <sub>3</sub> "	Полосовое жѣлѣзо 3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> " × 1 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "
Судоходное отверстіе на верх- ней Сенъ до 1870 г. . . . .	9' 10"	Двѣ гори- зонтальн.	На концахъ 2 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> "	—	Полосовое жѣлѣзо 2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> " × 1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> "
Судоходное отверстіе на рѣкѣ Meuse въ Бельгіи, 1876 г.	около 7' 5"	Нѣтъ	На срединѣ 2 <sup>11</sup> / <sub>32</sub> " на концахъ 2 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> "	На концахъ 2 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> "	Полосовое жѣлѣзо 2 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> " × 1 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "
Судоходное отверстіе на рѣкѣ Kanawha, 1896 г. . . . .	13' 0"	Двѣ гори- зонтальн.	На срединѣ 5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> " на концахъ 3"	На срединѣ 2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> " на концахъ 2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "	Двѣ полосы желобчатого жѣлѣза 3"
Тамъ же—водоспускное отвер- стіе, 1896 г. . . . .	8' 6"	Одна діаго- нальная 1" × 2"	На срединѣ 2 <sup>3</sup> / <sub>16</sub> " на концахъ 2"	На срединѣ 2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> " на концахъ 1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> "	Полосовое жѣлѣзо 2" × 1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "
Судоходное отверстіе на рѣкѣ Ohio, 1899 г. . . . .	13' 2"	Двѣ діаго- нальныя. 3" × 3 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> "	На срединѣ 4 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> " на концахъ 2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> "	На срединѣ 2 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> " на концахъ 2 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> "	Полосовое жѣлѣзо 3" × 1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "

**Щитъ.** Вертикальныя обвязки или ребра щита  $AC$  (фиг. 28. Табл. III) подвержены дѣйствію изгибающихъ моментовъ, максимальное значеніе которыхъ въ точкѣ  $B$ , такъ какъ ребра щита представляютъ собою балку задрѣзанную однимъ концомъ въ стѣну (консоли). Части  $BC$  придаются обыкновенно такіе же размѣры какъ и части  $AB$ . Если размѣры верхней части щита соотвѣтствуютъ дѣйствующимъ на нихъ усиліямъ, то и нижняя часть его будетъ обладать тоже достаточнымъ сопротивленіемъ.

Пусть  $U$ —давленіе воды на  $AB$ ,  $n$ —разстояніе въ (футахъ) центра давленія отъ точки  $B$  по вертикали между точками  $A$  и  $B$ ; остальные обозначенія такія же, какъ и выше

Тогда 
$$U = w m \sec \alpha \times 62\frac{1}{2} lbs \left( \frac{m}{2} + d \right)$$

Разстояніе  $n$  можетъ быть опредѣлено такимъ же образомъ, какъ выше было опредѣлено  $k$  (см. стр. 8), т. е.

$$n = \frac{m(m + 3d) \sec \alpha}{3(m + 2d)}$$

И общій сгибающій моментъ въ точкѣ  $B$  выразится такъ:

$$U \cdot n \times 12 = \frac{w m^2 \sec^2 \alpha}{2} \times 62\frac{1}{2} lbs \left( d + \frac{m}{3} \right) \times 12 \text{ фунто-дюймовъ.}$$

Съченіе опредѣлится по общимъ формуламъ  $S = \frac{Mc}{J}$  и  $J = \frac{bt^3}{12}$ . Въ нижеслѣдующей таблицѣ приведены нѣкоторыя данныя изъ существующихъ сооружений.



Названіе мѣстности.	Глубина на порогѣ.	Ширина щита.	Количе- ство реберъ.	Ширина реберъ.	Толщина реберъ.	Толщина обшивки.
Судоходное отверстіе въ Port à l'Anglais . . . . .	11' 10"	3',28	2	12"	8"	2"
Судоходныя отверстія на рѣкѣ Kanawha . . . . .	13' 0"	3'8"	2	12"	9"	2"
Водоспускныя отверстія—тамъ же.	8' 6"	3'9"	2	12"	6"	1 1/2"
Судоходныя отверстія на рѣкѣ Ohio.	13' 2"	3'9"	2	12"	10"	2"

**Замѣчанія.** Изъ пятидесятилѣтнихъ опытныхъ наблюденій надъ плотиною *Шаноана* выяснилось, что, вообще говоря, эта система болѣе пригодна для большихъ рѣкъ съ внезапными паводками: она достаточно прочна, управленіе ею не требуетъ много времени; вся она состоитъ изъ крупныхъ частей въ противоположность плотинамъ съ фермами *Поаре* со спицевыми затворами. Хотя послѣднія и лучше удерживаютъ воду, но на рѣкахъ со среднимъ даже расходомъ воды всегда бываетъ вполне достаточно и фильтраціи опасаться не слѣдуетъ.

Главнымъ недостаткомъ системы *Шаноана* считаютъ то, что она при наличности служебнаго мостика требуетъ устройства широкаго флютбета. Но если управленіе щитами можетъ производиться съ лодки, то мостикъ не нуженъ и флютбету можно придать меньшую ширину. Что же касается того, на сколько мостикъ необходимъ, то съ практической точки зрѣнія такая необходимость установлена далеко не твердо. Напримѣръ на р. Ohio такой мостикъ существовалъ, но былъ снесенъ паводкомъ, и управленіе плотиною пришлось производить по принужденію съ лодки. Нашли, что можно вовсе обойтись безъ мостика. Ширина же щитовъ была 3' 9", а высота около 13 футовъ.

Въ Бельгіи, на рѣкѣ Meuse для управленія щитами судоходнаго отверстія служитъ лодка, служебными же мостиками оборудованы водоспускныя отверстія съ цѣлю болѣе точнаго регулированія подпорнаго горизонта. Въ тоже время на верхней Сенѣ послѣ опытовъ съ лодкой на водоспускныхъ отверстіяхъ предпочли устроить служебные мостики, находя, что лодка не пригодна для управленія щитами въ ночное время и что съ мостика работа производится спокойнѣе и удобнѣе.

При примѣненіи паровыхъ лодокъ, кажется, нельзя найти возраженія противъ управленія щитами съ лодки по крайней мѣрѣ для судоходныхъ отверстій. Для водоспускныхъ же желательно имѣть служебный мостикъ; онъ облегчаетъ управленіе удержаніемъ подпорнаго уровня, особенно, при частомъ манипулированіи щитами.

Есть еще одно неудобство служебныхъ мостиковъ; оно заключается въ томъ, что части, составляющія половой настилъ, какъ при опусканіи, такъ и при подыманіи фермъ подвергаются дѣйствію теченія, при чемъ свободная ихъ сторона приподымается въ водѣ и можетъ быть легко повреждена проходящимъ судномъ или инымъ плывущимъ тѣломъ.

Много способовъ предлагалось для устраненія этого обстоятельства, но до сего времени безуспѣшно.

На плотинѣ La Mulatière пара рельсъ соединялась съ фермой и охватывала легкій деревянный половой настилъ шириною 4 фута. При этомъ достигнуто было уменьшеніе площади, на которую дѣйствовало теченіе и значительное увеличеніе вѣса этой части.

Этотъ способъ лучше другихъ хотя бы потому, что при немъ избѣгается переноска и уборка рельсовъ.



Размѣры фермъ (козелъ) въ плотинахъ Шаноана.

Названіе мѣстности.	Высота.	Ширина основанія.	Отношеніе основанія къ высотѣ.	Разстояніе между центрами.	Возвы- шеніе.	Примѣчаніе.
Бельгія, р. Meuse. . . . .	8' 2"	5' 5"	66/100	4' 8"	7' 6" надъ поро- гомъ.	Ширина пѣшеход- наго мостика 44", возвышеніе пола надъ подпорнымъ горизонтомъ 1' 8".
Парижъ, Port à l'Anglais (1870).	15' 9"	10' 2"	64/100	3' 7"	9' 10"	Ширина пѣшеходн. мостика 33", возвы- шеніе пола надъ под- порнымъ гориз. 1' 8".
La Mulatière Лионъ (1879) . .	22' 0"	11' 6"	52/100	9' 10"	11' 10"	Ширина пѣшеходн. мостика 48", возвы- шеніе надъ подпор- нымъ горизонт. 6' 6".
Рѣка Kanawha. Судоходн. отвер- стіе (1893). . . . .	16' 10"	11' 10"	65/100	8' 0"	13' 0" надъ поро- гомъ.	Ширина пѣшеходн. мостика 29", возвы- шеніе надъ подпор- нымъ горизонт. 2' 6".

Стоимость плотины Шаноана (съ мостикомъ).

Названіе мѣстности.	Возвыше- ніе.	Стоимость 1 пог. фута.			Примѣчаніе.
		Постоян. части.	Подвижн. части.	Общая.	
				\$	
Рѣка Marne . . . . .	6' 6"			244.00	Суд. отв.
Рѣка Saône. . . . .	7' 6"			244.00	Суд. отв.
Рѣка Meuse . . . . .	8' 3"	75.00	78.00	153.00	Водосп. отверстіе.
Рѣка La Mulatière. . . . .	11' 10"	508.50	91.50	600.00	Судов. отверстіе.
Рѣка Kanawha, (1893) . . .	8' 0" (13' надъ порогомъ)	226.00	26.80	252.80	Судов. и водосп. въ общемъ

Стоимость безъ служебнаго мостика.

Верхняя Сена . . . . .	5' 11"			88.50 183.50	Вососп. отверстіе. Судоход. отверстіе.
------------------------	--------	--	--	-----------------	---







О ПЛОТИНАХЪ ШАНОАНА.

---

Составлено по de-Mas.







### Описаніе плотины Шаноана.

**Щитъ, рама и поднось.** Въ 1857 году въ плотинѣ Конфланъ на Малой Сепъ Инженеръ *Шаноанъ* примѣнилъ впервые свою систему, столь остроумную, что она съ того времени заняла такое же мѣсто, какое и система *Поаре*.

При перестройкѣ плотины въ Аблонъ въ 1881 году въ затворѣ системы *Шаноана* были введены нѣкоторые измѣненія и усовершенствованія.

Щитъ, предназначенный для образованія подпора, вращается на горизонтальной оси, помѣщенной около центра давленія между одной третью и половиною длины щита, считая отъ нижняго его ребра. Когда щитъ поднятъ, онъ нижнимъ своимъ ребромъ опирается на порогъ флютбета. Пока горизонтъ воды не превосходитъ извѣстнаго уровня, давленіе, испытываемое нижнею частью щита, больше давленія на верхнюю часть щита, влѣдствіе чего щитъ остается въ приподнятомъ положеніи. При достаточно же высокомъ горизонтѣ, когда верхняя часть щита, какъ болѣе длинная, будетъ испытывать большее давленіе, нежели нижняя, щитъ начинаетъ вращаться и открываетъ отверстіе для прохода воды. При такомъ положеніи щита Вопросъ о полномъ открытіи отверстій плотины разрѣшается не вполне, такъ какъ при этомъ ни суда, ни плоты проходить черезъ плотину не могутъ.

Въ виду этого *Шаноанъ* и придумалъ помѣстить горизонтальную ось вращенія щита на особаго рода станкѣ, состоящемъ изъ двухъ частей: подкоса, упирающагося своей пятой въ выступъ коробки, и рамы. Рама эта внизу заканчивается осью, вращающейся въ подшипникахъ, задѣланныхъ во флютбетѣ.

**Способъ укладки и поднятія щитовъ.** Если при помощи рейки пята подкоса будетъ сдвинута съ уступа коробки, то весь станокъ, а съ нимъ вмѣстѣ и щиты подъ дѣйствіемъ давленія воды ложатся на флютбетъ, при чемъ нижняя часть рамы остается на мѣстѣ, вращаясь въ подшипникахъ. Чугунная коробка снабжена ребрами особаго вида, которыя и направляютъ пята подкоса при его скользяніи.

Для поднятія щита захватываютъ нижнюю часть его багромъ или тянутъ за прикрепленную къ нижнему краю цѣпь противъ теченія, приподнимая такимъ образомъ раму и подкосъ; послѣдній скользитъ между направляющими, пока не упрется въ выступъ коробки. При этомъ собственно станокъ приходитъ въ устойчивое положеніе. Если же затѣмъ толкнуть слегка нижнюю часть щита или потянуть за верхнюю, то щитъ поворачивается и приходитъ тоже въ нормальное положеніе; все это происходитъ, конечно, въ предположеніи, что при подпорномъ горизонтѣ и при горизонтахъ болѣе низкихъ, давленіе воды на нижнюю часть щита болѣе, чѣмъ на верхнюю.

**Служебное судно.** Въ первое время послѣ появленія плотинъ *Шаноана* манипуляція со щитами, какъ это уже было сказано, производилась вручную съ особаго служебнаго судна; судно это устанавливалось параллельно плотинѣ и при помощи особой рамы опиралось на нижнюю часть щита. Такой способъ представлялъ значительныя неудобства, такъ какъ поднять щиты было возможно только при значительномъ пониженіи горизонта воды, при высокихъ же горизонтахъ рама упиралась въ верхнюю часть щита и переворачивала его.

Чтобы имѣть возможность манипулировать со щитами и при высокихъ горизонтахъ стали примѣнять впослѣдствіи служебное судно, установленное выше плотины на якорѣ и уже параллельно оси рейки. Перерывкая на длинномъ концѣ отъ одного берега къ другому, рабочіе



могли остановиться у любого щита и зацепить его багромъ, уложить или поднять; способъ этотъ, однако, представлялъ неудобства при подъемѣ боковыхъ щитовъ, которые подвергались боковымъ усиліямъ. Поэтому окончательно остановились на комбинаціи, схема которой показана на Табл. 4, фиг. 31. Служебное судно соединено канатомъ съ лодкой, которая можетъ двигаться вдоль цѣпи, протянутой поперекъ рѣки; такимъ образомъ ничто не мѣшаетъ точной установкѣ судна въ должномъ положеніи, противъ оси каждого щита, а, слѣдовательно, никакимъ вреднымъ боковымъ усиліямъ щиты при подъемѣ подвергаться не будутъ.

Въ то время, когда отверстіе плотины открыто, упомянутая цѣпь лежитъ свободно на днѣ рѣки. Одинъ конецъ этой цѣпи укрѣпленъ къ сваѣ на берегу, другой при помощи цѣпи съ мелкими звеньями къ тумбочкѣ, задѣланной въ боковую стѣну шлюза. При желаніи натянуть цѣпь подбираютъ вручную маленькую цѣпку до тѣхъ поръ, пока изъ воды не выйдетъ нѣсколько звеньевъ большой цѣпи. Затѣмъ захватываютъ послѣднюю особымъ крюкомъ (стопоромъ), прикрѣпленнымъ въ свою очередь къ третьей цѣпи (средней прочности), идущей на валъ стопорной лебедки. Работая послѣдней при помощи приспособленія, какое бываетъ на обыкновенныхъ трещеткахъ, можемъ натянуть большую цѣпь и надѣть на тумбочку кольцо, которымъ она оканчивается.

На лодкѣ имѣется желобчатый шкивъ съ гнѣздами, черезъ который и должна проходить большая цѣпь.

На Табл. 4, фиг. 35 показаны детали приспособленія, помѣщенного на носу лодки, изъ которыхъ не трудно понять, въ чемъ состоитъ и какъ происходитъ передвиженіе лодки, а съ нею и служебнаго судна вдоль поперечной цѣпи. Добавимъ лишь, что всѣ части этого приспособленія, расположенныя надъ шкивомъ, поставлены на болтахъ и могутъ быть сняты для прокладки цѣпи.

**Служебный мостикъ.** Удобнѣе всего оказалось въ концѣ концовъ производить всѣ маневры вручную, для достиженія чего устраиваютъ тутъ же выше щитовъ фермы, поддерживающія служебный мостикъ. Строго говоря, эти маневры могли бы быть исполнены при помощи однихъ багровъ, однако же болѣе удобными оказались передвигаемыя лебедки и цѣпи, изъ которыхъ одна прикрѣплена къ верхней, а другая къ нижней части щита; набирая на валъ лебедки одну и сдвигая другую цѣпь, рабочій можетъ поднять или опустить щитъ. (Табл. 4, фиг. 29).

Однако къ этому устройству и способамъ работъ пришли только при постройкѣ второй плотины, при чемъ фермамъ для мостика принуждены были придать прочность достаточную для поддержанія почти полнаго напора; въ самомъ дѣлѣ одна наличность фермъ практически приводила къ употребленію ихъ въ смыслѣ перемычекъ при ремонтѣ щитовъ. Это—во первыхъ, а, во вторыхъ, при работѣ лебедкой появлялись въ частяхъ фермъ напряженія, весьма близкія къ тѣмъ, какія были бы вызваны при существованіи спицъ, поддерживающихъ напоры и, наконецъ, въ третьихъ, при поднятіи и опусканіи самыхъ фермочекъ, очевидно, необходимо предположить дѣйствіе такихъ же силъ, какъ и при обыкновенныхъ фермахъ, а, слѣдовательно, жесткость фермочекъ въ поперечномъ направленіи должна быть тоже значительной.

Разсмотрѣвъ систему *Шаноана* въ общихъ чертахъ, перейдемъ къ описанію ея деталей съ указаніемъ ихъ недостатковъ и преимуществъ.

**Конструкція щита.** Разберемъ конструкцію щита, устроеннаго на р. Сенѣ въ 1881 году для достиженія на ней глубины въ 2 метра. На Табл. 4, фиг. 30 показаны два щита со всѣми принадлежностями—одинъ въ приподнятомъ положеніи, а другой—уложенный на флютбетѣ; на Табл. 4, фиг. 32 показано детальное устройство самого щита.

Существенную часть щита составляютъ двѣ вертикальныхъ широкихъ стойки, соединенныя вверху и внизу поперечными горизонтальными брусками. Обшивку образуютъ толстыя доски, входящія въ четверть, выбранную въ означенныхъ стойкахъ и брускахъ. Желѣзные оковки довершаютъ полное скрѣпленіе составныхъ частей щита. Дерево лучше всего отвѣчаетъ назначенію щита: вслѣдствіе своей упругости оно безъ вреда для себя переноситъ всѣ удары и толчки, всегда имѣющіе мѣсто при различныхъ манипуляціяхъ со щитомъ; послѣднія въ свою очередь значительно облегчаются вслѣдствіе того, что деревянный щитъ, будучи погруженъ въ воду, теряетъ почти весь свой вѣсъ; вертикальныя балки при однообраз-



номъ своемъ сѣченіи представляютъ удобства при установкѣ на нихъ подшипниковъ для рамы на любой высотѣ, въ зависимости отъ тѣхъ функцій, для которыхъ щитъ предназначается, о чемъ будетъ подробнѣе сказано ниже; наконецъ вся конструкція настолько проста, что мелкія починки могутъ быть исполнены сторожами, а это особенно важно въ томъ случаѣ, если плотина удалена отъ населенныхъ центровъ.

Какъ выше уже сказано, вращеніе щита совершается около горизонтальной оси, расположенной на извѣстной высотѣ. Какъ эта послѣдняя опредѣляется, объ этомъ будетъ сказано ниже. Но разъ она опредѣлилась, легко уже рассчитать поперечные размѣры стоекъ. Въ самомъ дѣлѣ, верхняя часть можетъ быть уподоблена балкѣ, закрѣпленной однимъ концомъ въ стѣну, а нижняя—балкѣ, лежащей свободно на 2-хъ опорахъ \*).

Однако полученные при такомъ предположеніи размѣры должны быть разсматриваемы, какъ минимальные и на практикѣ должны быть увеличиваемы въ виду претерпѣваемыхъ щитомъ ударовъ.

Когда при помощи зубчатой рейки подкосы щитовъ сдвинуты съ своихъ опоръ, щитъ быстро падаетъ и при паденіи своемъ можетъ удариться о поверхность флютбета прежде всего выступающимъ мѣстомъ сочлененія рамы съ подкосомъ и, хотя сила удара и ослабляется слоемъ воды въ нижнемъ бьефѣ, тѣмъ не менѣе для предупрежденія поломокъ на стойкахъ вверху и внизу укрѣпляются деревянные же подушки такой высоты, чтобы предохранить желѣзные части щита отъ соприкосновенія съ кладкой флютбета. Иногда вмѣсто подушки на щитѣ устраиваютъ соотвѣтственно выступы въ кладкѣ флютбета.

Укажемъ еще на углубленіе въ нижнемъ брусѣ и кольцо въ верхнемъ брусѣ для облегченія захватыванія щита багромъ.

Въ верхней части щита подъ верхнимъ брускомъ между двухъ стоекъ сдѣлано отверстіе (разм.  $1,02 \times 0,65$ ) со щитомъ 1 м. высоты и 0,63 м. ширины на горизонтальной оси, помѣщенной на  $\frac{1}{3}$  его высоты. Этотъ щитокъ мы будемъ называть дальше „калиткою“.

Калитка легко открывается отъ толчка багромъ, образуя отверстіе для прохода воды. При этомъ давленіе на верхнюю часть щита уменьшается, оставаясь неизмѣннымъ для нижней, чѣмъ увеличивается устойчивость щита. Вмѣстѣ съ тѣмъ присутствіе калитки ускоряетъ процессъ поднятія щита.

Впервые калитки были примѣнены къ системѣ *Шаноана* Инженеромъ *Буле*. Щитки эти имѣютъ тѣмъ большее значеніе, что при посредствѣ ихъ легко регулировать требуемую высоту подпора. Если каждый затворъ *Шаноана* снабженъ калиткой, то незначительные паводки могутъ быть пропущены безъ манипуляціи съ большими щитами. Калитки, вращающіяся на горизонтальной оси и расположенныя въ плоскости центра давленія, казалось бы, могли дѣйствовать автоматически, однако, опытъ показалъ, что открываніе ихъ въ сущности происходитъ случайно, что не всегда полезно, а поэтому они снабжены щеколдами, открываемыми вручную.

Въ верхней части щитка имѣется круглое углубленіе въ 0,16 м. діаметромъ, ниже котораго помѣщена со стороны нижняго бьефа горизонтальная подушка, выступающая на 0,17 метра; то и другое назначается для приведенія въ надлежащее положеніе щитка въ соприкосновеніе его съ подкосомъ, когда большой щитъ ложится на флютбетъ. Добавимъ еще, что полному вращенію щитка вокругъ оси препятствуетъ желѣзная планка длиною 0,70 м., приболченная къ нижней части щитка съ напорной стороны и выступающая на 0,025 метра на края стоекъ. Верхняя грань этой планки при поворотѣ щитка упирается въ стойки и этимъ ограничиваетъ уголъ его поворота.

**Размѣры щитовъ и взаимное между ними разстояніе.** Система *Шаноана* примѣнима только при ограниченныхъ подпорахъ, не вызывающихъ особенно значительныхъ напряженій въ составныхъ ея частяхъ. Длина щита зависитъ, главнымъ образомъ, отъ заданной высоты подпорнаго горизонта и частью отъ угла наклона его къ вертикали. Если же эта длина получается слишкомъ велика, то приходится уменьшать ширину щита \*\*); такъ, напримѣръ,

\*) Казалось бы болѣе правильнымъ обѣ части щита, верхнюю и нижнюю, разсматривать какъ балки, закрѣпленныя однимъ концомъ и подвергнутыя такому изгибающему моменту, какой претерпѣваетъ одна верхняя часть щита въ моментъ отдѣленія нижней отъ порога, при этомъ обязательно необходимо принять во вниманіе и динамическое давленіе воды. Полученные такимъ образомъ значенія полезно увеличить по меньшей мѣрѣ вдвое.

\*\*) Для уменьшенія полнаго давленія на щитъ.



щить плотины въ Port-à-l'Anglais при длинѣ своей 4,45 mt. имѣть ширину только 1 метръ и все же при этомъ, когда разность горизонта (подпоръ) достигаетъ 3,26 mt., полное давленіе на щить превосходитъ 7500 кгр.

Точность сборки металлическихъ частей станины, поддерживающей щить, съ теченіемъ времени, конечно, нарушается. Кромѣ того, существуетъ и первоначальная неточность соединенія подкоса съ рамой, необходимая для того, чтобы подкосъ имѣлъ нѣкоторое боковое движеніе, какъ мы это увидимъ ниже; необходимымъ слѣдствіемъ этого является слѣдующее: если два сосѣднихъ щита будутъ помѣщены черезчуръ близко другъ къ другу, то они могутъ не только соприкасаться, но и заходить одинъ за другой, уменьшая водонепроницаемость плотины и крайне затрудняя манипуляціи со щитами — особенно при высокихъ и узкихъ щитахъ.

Разстояніе между щитами въ 0,10 метр. можно считать максимальнымъ. Существующіе въ плотинахъ на р. Сенѣ щиты длиною 1,25 м. отстоятъ одинъ отъ другого на 0,05 метр., причемъ, однако, бесполезная потеря воды слишкомъ значительна и въ нѣкоторыхъ случаяхъ не соотвѣтствуетъ меженнему расходу; поэтому во время самыхъ низкихъ горизонтовъ щели эти должны быть закрыты; для этого пользуются или доскою см. Табл. 17, фиг. 188а или же спицей см. Табл. 17, фиг. 188б, которая прижимается напоромъ къ краямъ сосѣднихъ щитовъ.

**Дифференціальныя лебедки системы Lévy.** Система затворовъ *Шаноана* съ теченіемъ времени подверглась многимъ важнымъ усовершенствованіямъ. Такъ, напримѣръ, вопросъ о способѣ подъема щитовъ съ постоянного мостика весьма удачно разрѣшенъ примѣненіемъ дифференціальной лебедки Lévy.

При употребленіи обыкновенной лебедки никакъ нельзя избѣгнуть внезапныхъ сотрясеній и сильныхъ толчковъ, опасныхъ какъ для работающихъ, такъ и вредно отражающихся на прочности составныхъ частей щита. Часто, и даже чаще, чѣмъ можно было бы предполагать, бываетъ, что подкосъ соскакиваетъ съ своей упорной подушки.

Какъ намъ уже извѣстно, каждый щить снабженъ двумя цѣпами, изъ которыхъ одна прикрѣплена къ верхней его части, а другая къ нижней. Лебедка Lévy представляетъ собою дифференціальныя ворота и состоитъ изъ двухъ барабановъ различнаго діаметра, насаженныхъ на одинъ валъ; отношеніе между діаметрами этихъ валовъ такое же, какъ и между длинами верхней и нижней частей щита; верхняя цѣпь проходитъ черезъ барабанъ большаго діаметра и нижняя черезъ барабанъ меньшаго, но, конечно, въ обратномъ направленіи, т. е. такимъ образомъ, что при вращеніи вала лебедки одинъ барабанъ травитъ цѣпь, а другой ее набираетъ. Если обѣ цѣпи натянуты въ какомъ-нибудь положеніи щита, то онѣ всегда натянутыми и останутся, будемъ ли мы щить опускать или подымать, а слѣдовательно щить не можетъ измѣнить своего положенія безъ воли управляющаго лебедкой. Даже и въ томъ случаѣ, если бы подкосъ сорвался съ упорной подушки, ничего особеннаго произойти не можетъ; затруднится лишь въ нѣкоторой степени вращеніе ручки лебедки.

**Детальное описаніе лебедки.** Приведемъ здѣсь описаніе лебедки, какъ оно сдѣлано самимъ изобрѣтателемъ въ Annales des P. et Ch. за 1881 г.

Съ точки зрѣнія прикладной механики, означенная лебедка не представляетъ собою ничего новаго, но опытъ показалъ, что она вполне отвѣчаетъ своему назначенію; при ея употребленіи совершенно исчезаютъ всякіе толчки и сотрясенія, имѣющіе обыкновенно мѣсто при работѣ со щитами *Шаноана*. Въ связи съ этимъ достигается почти полная безопасность рабочихъ, что особенно важно въ случаяхъ значительныхъ подпоровъ.

Не говоря о разрывахъ подъемныхъ цѣпей или поломкахъ подъемнаго крюка, что можетъ быть избѣгнуто при употребленіи матеріаловъ лучшаго качества, самымъ опаснымъ случаемъ надо считать непредвидѣнное соскальзываніе пяты подкоса съ упора.

Казалось бы, что при большомъ вѣсѣ подкоса подобный случай весьма мало вѣроятенъ, въ дѣйствительности же, напротивъ, это бываетъ очень часто.

Для доказательства этого разсмотримъ какъ исполняется самая обыкновенная задача установки щита, повернувшись почему-либо на своей оси. Центръ давленія воды на весь щить, вышедшій изъ стоячаго положенія, находится, очевидно, въ верхней части щита, тогда какъ при стоячемъ положеніи этотъ центръ долженъ находиться на нижней части щита;



въ положеніи же равновѣсія—на самой оси вращенія. Изъ этого слѣдуетъ что, приводя щить въ стоячее положеніе, мы въ началѣ работъ должны преодолѣть болѣе или менѣе значительное сопротивленіе, но лишь только полотнище щита вышло изъ положенія равновѣсія, сопротивление воды сразу изъ положительнаго переходитъ въ отрицательное; щить самъ собою стремится стать въ надлежащее положеніе, и если не принять никакихъ мѣръ, онъ съ силой ударится о порогъ плотины. Сила удара очень часто служитъ причиной того, что подкосъ соскакиваетъ со своей упорной площадки, вслѣдствіе чего щить, уже поставленный, снова падаетъ на флютбетъ, вызывая новую работу по его подъему. Если при этомъ рабочій зазывается, то, въ лучшемъ случаѣ, онъ будетъ сбить съ ногъ.

Аналогичное явленіе можетъ произойти, и даже болѣе вѣроятно, когда рабочему предстоитъ повернуть полотнище щита, находящагося въ стоячемъ положеніи.

Случается также, что подкосъ самъ по себѣ, безъ видимой причины, вдругъ соскакиваетъ съ упорной площадки; чаще всего потому, что установка щита была произведена неправильно, а это особенно опасно, такъ какъ не можетъ быть предусмотрено. Подобные случаи, кромѣ того, имѣютъ мѣсто и вслѣдствіе того, что поверхность упорной площадки въ коробкѣ *Шаноана* чуть-чуть скошена для облегченія дѣйствія рейкой при опусканіи щитовъ.

Какъ бы то ни было, тѣ ли, иныя-ли причины вызываютъ неожиданныя паденія щита; вредъ и опасность этихъ явленій столь велики, что представилось настоятельной необходимостью найти средство противъ того, чтобы при манипуляціи со щитами, послѣдніе никоимъ образомъ не могли сами по себѣ принимать произвольнаго положенія и это не только при нормальныхъ условіяхъ, но даже и тогда, когда подкосъ щита почему-либо соскакиваетъ со своей упорной площадки. Для этой цѣли каждый щить снабженъ двумя цѣпами: одной, прикрѣпленной къ верхней его части, и другой—къ нижней (Табл. 1, фиг. 1). Лебедка имѣетъ два барабана различныхъ діаметровъ, насаженные на общій валъ. Длины діаметровъ барабановъ находятся между собою въ такомъ же отношеніи, какъ длины верхней и нижней частей щита. Цѣпь отъ верхней части щита проходитъ черезъ барабанъ большаго діаметра, а цѣпь отъ нижней части—черезъ барабанъ меньшаго діаметра, при чемъ цѣпи эти расположены такимъ образомъ, что при вращеніи барабановъ, одинъ изъ нихъ набираетъ цѣпь, а другой отдаетъ.

**Установка щитовъ.** Предположимъ, что требуется щить привести въ стоячее положеніе. Для этого начинаютъ вращать лебедку въ томъ направленіи, при которомъ цѣпь отъ верхней части щита набирается, а цѣпь отъ нижней стравливается. При правильномъ отношеніи между діаметрами барабановъ и длинами обѣихъ частей щита степень натяженій обѣихъ цѣпей остается неизмѣнной во все время дѣйствія лебедкой. Пока щить не придетъ въ положеніе равновѣсія, работаетъ цѣпь большаго барабана, далѣе обратно-работающей цѣпью явится цѣпь меньшаго барабана, такъ какъ она удерживаетъ нижнюю часть щита, стремящагося прижаться къ порогу. Такимъ образомъ, щить все время находится какъ бы на возжахъ: каково бы ни было положеніе центра давленія воды, движеніе щита зависитъ вполне отъ воли работающаго на лебедкѣ.

Допустимъ, что почему-либо подкосъ щита вдругъ соскочитъ съ своей упорной площадки. Что же тогда произойдетъ? Обѣ цѣпи удержатъ щить въ томъ положеніи, въ какомъ онъ былъ въ тотъ моментъ, когда подкосъ потерялъ точку опоры, и работающій на лебедкѣ будетъ продолжать вращеніе ручкой такъ же, какъ будто не произошло ничего особеннаго, щить подъ дѣйствіемъ двухъ натянутыхъ цѣпей вращается въ сущности около нѣкоторой воображаемой оси, совпадающей съ его дѣйствительной осью вращенія, но не нуждающейся въ поддержкѣ ея подкосомъ. Разъ щить очутится на мѣстѣ, сила теченія воды, проходящая до этого между его основаніемъ и порогомъ, перестанетъ приподымать подкосъ, который подъ дѣйствіемъ собственной тяжести, не преминетъ также стать въ надлежащее положеніе.

Такимъ образомъ ходъ дѣла не нарушится отъ внезапной потери щитомъ точки опоры. Лицо, работающее на лебедкѣ, почувствовавъ увеличеніе сопротивленія на ручкѣ, пойметъ, что произошло, и приметъ необходимыя предосторожности на случай разрыва цѣпи.

Тѣ же приемы, но только въ обратномъ порядкѣ, производятся при опрокидываніи щита.



Поднятіе щита, покоющагося на флютбетъ. Начинають работу, набирая на барабанъ лебедки одну только цѣпь отъ нижней части щита, пока рама щита не придетъ въ надлежащее положеніе (о чемъ можно судить по сдѣланнымъ заранее мѣткамъ на цѣпи), затѣмъ окончательную установку довершаютъ при помощи обѣихъ цѣпей. Въ этомъ случаѣ никогда нельзя навѣрное знать, пришелъ ли уже подкосъ на свое мѣсто; но это не важно: продолжая дѣйствовать лебедкой до приведенія щита въ стоячее положеніе, заставляютъ въ концѣ концовъ и подкосъ занять свое мѣсто.

Укладка на флютбетъ щита стоячаго или опрокинутаго. Эта операція далеко не изъ легкихъ. Въ то время (1869 г.), когда къ щитамъ *Шаноана* впервые стали примѣняться фермы *Поаре* въ роли опоръ для временнаго мостика, предполагалось, что все манипуляціи со щитами должны производиться безъ всякихъ затрудненій и что даже рейка съ заплечиками представляется излишней. Для достиженія послѣдняго инженеромъ *Леви* было придумано приспособленіе, которое хотя и уступаетъ коробкѣ *Паско*, но все-таки заслуживаетъ нѣкотораго вниманія, уже хотя бы потому, что во 1-хъ оно было примѣнено на практикѣ и ею признано, а во 2-хъ не требовало, подобно коробкѣ *Паско*, никакихъ переустройствъ существующихъ плотинъ. Приспособленіе это заключается въ слѣдующемъ.

Положимъ, требуется произвести укладку щита (Табл. 1, фиг. 4). Сначала натягиваютъ лебедкой верхнюю цѣпь щита, ослабляя этимъ давленіе пяты подкоса на упорную площадку, и удерживаютъ въ этомъ положеніи щитъ, закидывая собачку на храповикъ. Затѣмъ, при помощи особаго крюка, состоящаго изъ кривой желѣзной полосы, прочно насаженной на деревянную ручку, захватываютъ низъ подкоса и приподымаютъ его чуть-чуть надъ упорной коробкой. Достаточно два-три оборота лебедки, чтобы подкосъ очутился ниже упорной коробки; послѣ этого отымаютъ крюкъ и продолжаютъ травить цѣпь, пользуясь для этого имѣющимся при лебедкѣ тормазомъ.

Опредѣленіе силы при манипуляціяхъ со щитами. Замѣтимъ, что усилія, съ которыми приходится имѣть дѣло при различныхъ манипуляціяхъ со щитами не имѣютъ ничего общаго съ расчетнымъ статическимъ давленіемъ.

Эти усилія значительно меньше въ томъ случаѣ, если щиты снабжены валитками. Благопріятные результаты получаютъ и въ томъ случаѣ, когда, благодаря выбору мѣста оси вращенія щита, послѣдній, находясь въ опрокинутаго состояніи, не достигаетъ горизонтальнаго положенія. Щиты, построенные *Шаноаномъ*, переходятъ черезъ горизонтальную линію и, погружаясь верхнею своею частью въ воду, образуютъ съ этой линіей нѣкоторый уголъ, уходящій, такъ сказать, въ воду.

На новыхъ плотинахъ на р. Meuse устроено такимъ образомъ, что щиты не приходятъ въ горизонтальное положеніе, составляя съ послѣднимъ уголъ въ  $25^{\circ}$ . *Шаноанъ* былъ принужденъ рассчитать свои щиты иначе, въ сущности непрактично, вслѣдствіе примѣненія къ нимъ особаго подвижнаго противовѣса; этотъ противовѣсъ долженъ былъ самъ собою передвинуться по щиту снизу вверхъ; слѣдовательно, опрокинутый щитъ по необходимости долженъ былъ занять наклонное положеніе. Въ настоящее время противовѣсы почти оставлены, вслѣдствіе чего нѣтъ никакой надобности, чтобы опрокинутый щитъ своею верхнею частью опускался ниже горизонтальной линіи, проходящей черезъ его ось.

Условія работы щитовъ слишкомъ сложны и разнообразны, и потому только опытъ можетъ дать должное понятіе о дѣйствительныхъ сопротивленіяхъ, которыя приходится преодолевать на дѣлѣ. Такъ, напр., усиліе, требующееся при установкѣ какого-нибудь опрокинутаго щита далеко не всегда одинаково и, въ значительной степени, зависитъ отъ того, находятся ли сосѣдніе щиты уже въ стоячемъ положеніи или еще нѣтъ. Въ первомъ случаѣ, оно гораздо больше, такъ какъ при этомъ должна быть побѣждена сила боковыхъ теченій, образующихся между устанавливаемыми щитами и смежными съ нимъ, тогда какъ, во второмъ случаѣ, сила теченія дѣйствуетъ въ обратномъ направленіи и, пожалуй, даже благопріятствуетъ установкѣ.

Инженеръ *Леви* произвелъ въ 1869 году нѣсколько опытовъ для опредѣленія динамическихъ усилій, дѣйствующихъ на щиты длин. 2 м. и ширин. 1 м. При этомъ онъ нашелъ, что при самыхъ неблагопріятныхъ условіяхъ максимумъ силы, потребной для приведенія щита въ стоячее положеніе, равенъ 500—600 килограм., сила эта достигаетъ 1600—1800 кил. въ самомъ началѣ подъема лежачаго щита, при чемъ она сразу же уменьшается, какъ только щитъ тронется съ мѣста.

Передача лебедки такъ рассчитана, что сила тяги на большомъ барабанѣ въ 16 и въ 48 разъ болѣе силы, приложенной къ ручкѣ, смотря потому, какая изъ двухъ шестеренъ приве-



дена въ зацѣплениі; на маломъ же барабанѣ сила тяги увеличивается въ отношеніи 0,20:0,108, т.-е. почти вдвое.

Здѣсь не принята во вниманіе сила тренія и другія бесполезныя сопротивленія. Считаясь и съ ними и уменьшая въ виду этого полезное дѣйствіе лебедки вдвое, придемъ къ слѣдующему.

1) Для того, чтобы поднять уравновѣшенный щитъ при самыхъ неблагопріятныхъ условіяхъ достаточно, поставивъ лебедку на малую скорость, къ ручкѣ лебедки приложить силу равную 16—18 кил.

2) Для того, чтобы поднять лежащій щитъ, достаточно при той же скорости лебедки, приложить къ каждой ручкѣ силу, равную 18—20 кил.

Эти цифры соотвѣтствуютъ въ 1-мъ случаѣ силѣ одного человѣка, во-2-мъ—силѣ двухъ человѣкъ.

Если щиты снабжены калитками, то силы, потребныя для указанныхъ случаевъ, совсѣмъ незначительны.

Тормазъ лебедки такъ рассчитанъ, чтобы одинъ человѣкъ его могъ удерживать, когда подкосъ щита соскочитъ съ упорной площадки. Тормазной рычагъ не мѣшаетъ движенію по служебному мостику.

Рама и подкосъ съ принадлежностями, Усилія, передаваемые на точки опоры при полномъ напорѣ.

Для большей простоты предположимъ, что соединеніе щита съ рамой и подкосомъ находится въ одной точкѣ 0. Обозначимъ черезъ  $p$  высоту точки 0 надъ королемъ,  $b$ —ширину щита;  $H$  и  $h$ —высоту горизонтовъ верхняго и нижняго бьефовъ;  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ —углы съ вертикалью, щита; рамы и подкоса. Табл. 17, фиг. 189.

Усиліе, приложенное въ точкѣ  $M$ , перпендикулярное къ щиту, выражается въ тоннахъ ( $=1000 \text{ kg}$ )

$$\varphi = l \frac{H^3 - h^3}{6p \cos \alpha} \text{ тоннъ} \dots \dots \dots (1)$$

формула эта получается такимъ образомъ: Полное давленіе воды на щитъ  $= b \frac{H^3 - h^3}{2 \cos \alpha}$ ; моментъ относительно точки  $A$   $b \frac{H^3 - h^3}{6 \cos^2 \alpha} = M_1$ .

Моментъ усилія, приложеннаго въ точкѣ 0, долженъ равняться моменту  $M_1$ ;

такимъ образомъ,  $\varphi \frac{p}{\cos \alpha} = b \frac{H^3 - h^3}{6 \cos^2 \alpha}$

откуда  $\varphi = b \frac{H^3 - h^3}{6p \cdot \cos \alpha}$ .

Сила  $\varphi$  можетъ быть разложена на  $\varphi_p$  и  $\varphi_c$  по направленію рамы и подкоса. Изъ чертежа видно, что  $\varphi_p$  есть сила растягивающая, а  $\varphi_c$ —сжимающая. Легко опредѣлить значеніе той и другой.

$$\varphi_p = b \frac{H^3 - h^3}{6p} \times \frac{\cos \gamma - \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \gamma}{\sin(\gamma - \beta)} \dots \dots \dots (2)$$

$$\varphi_c = b \frac{H^3 - h^3}{6p} \times \frac{\cos \beta - \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \beta}{\sin(\gamma - \beta)} \dots \dots \dots (3)$$

Для полученія горизонтальныхъ и вертикальныхъ составляющихъ силъ  $\varphi_p$  и  $\varphi_c$  достаточно первую изъ нихъ помножить на  $\sin \beta$  и  $\cos \beta$ , а вторую на  $\sin \gamma$  и  $\cos \gamma$ .

Формулы (2) и (3) выводятся слѣдующимъ образомъ: Изъ треугольника  $OJK$  имѣемъ:

$$\frac{OJ}{\sin OKJ} = \frac{JK}{\sin JOK} = \frac{OK}{\sin OJK} \text{ или}$$

$$\frac{\varphi}{\sin(\gamma - \beta)} = \frac{\varphi_p}{\cos(\alpha + \gamma)} = \frac{\varphi_c}{\cos(\alpha + \beta)}, \text{ откуда}$$

$$\varphi_p = \varphi \frac{\cos(\alpha + \beta)}{\sin(\gamma - \beta)}$$

$$\varphi_c = \varphi \frac{\cos(\alpha + \beta)}{\sin(\gamma - \beta)}$$



301. Заменяя  $\varphi$  его значеніемъ, получимъ

$$\varphi_p = b \frac{H^3 - h^3}{6p \cos \alpha} \cdot \frac{\cos(\alpha + \gamma)}{\sin(\gamma - \beta)} = b \frac{H^3 - h^3}{6p} \cdot \frac{\cos \gamma - \operatorname{tg} \alpha \sin \gamma}{\sin(\gamma - \beta)}$$

$$\varphi_c = b \frac{H^3 - h^3}{6p} \cdot \frac{\cos \beta - \operatorname{tg} \alpha \sin \beta}{\sin(\gamma - \beta)}.$$

Если щитъ и рама находятся по одну сторону вертикали, то уголъ  $\beta$  надо взять съ отрицательнымъ знакомъ.

Измѣненіе усилій въ зависимости отъ измѣненія угловъ  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ . По мѣрѣ увеличенія угла  $\gamma$ , т.-е. угла, составляемаго подкосомъ съ вертикалью или иначе по мѣрѣ удлинненія подкоса, уменьшаются растягивающіяся усилія  $\varphi_p$  и сжимающія  $\varphi_c$ ; уменьшеніе это особенно значительно для  $\varphi_p$ . Это послѣднее становится равнымъ нулю въ томъ случаѣ, если подкосу будетъ придано положеніе перпендикулярное къ щиту \*).

Уменьшеніе  $\varphi_p$  и  $\varphi_c$  послѣдуетъ также при возрастаніи угла  $\alpha$ , т.-е. при увеличеніи уклона щита, при чемъ  $\varphi_p$  будетъ равно нулю, когда направленіе щита станетъ перпендикулярнымъ къ направленію подкоса. Усиліе  $\varphi_c$ , сжимающее подкосъ, въ свою очередь исчезаетъ; уголъ между подкосомъ и рамой будетъ равенъ  $90^\circ$  \*\*).

Меньшее вліяніе на уменьшеніе усилій  $\varphi_p$  и  $\varphi_c$  оказываютъ измѣненія угла  $\beta$ , уклона рамы. Изъ разсмотрѣнія построеннаго параллелограмма силъ видно, что обѣ составляющія силы уменьшаются вмѣстѣ съ уменьшеніемъ угла  $\beta$ , и уменьшеніе это не прерывается и въ то время когда уголъ  $\beta$ , перейдя черезъ нуль, получаетъ отрицательное значеніе и, возрастая далѣе абсолютно, становится равнымъ углу  $\alpha$ .

Имѣя въ виду, собственно, одно только уменьшеніе усилій, вызываемыхъ въ точкахъ опоръ щита, и предположивъ, что высота точки вращенія щита остается постоянной, мы можемъ на основаніи сказаннаго придти къ слѣдующимъ положеніямъ:

1) Весьма полезно увеличивать, по возможности, длину подкоса.

2) Полезно также увеличивать наклонъ самого щита, не забывая однако, что при этомъ длина и размѣры его также увеличиваются и это можетъ представить практическія неудобства. По опытнымъ даннымъ этотъ уклонъ колеблется между  $8^\circ$  (для малыхъ щитовъ) и  $20^\circ$  (для большихъ). Уклонъ щитовъ, работающих въ настоящее время на верхней Сенѣ (Табл. 4, фиг. 30) равенъ  $15^\circ 26' 32''$ .

Полезно еще располагать основаніе рамы возможно ближе къ порогу, и это тѣмъ полезнѣе, чѣмъ значительнѣе размѣры щита.

Кромѣ того, въ виду растягивающихъ усилій, дѣйствующихъ на раму, необходимо обратить вниманіе на надлежащее укрѣпленіе подшипниковъ нижней оси этой рамы въ кладкѣ флютбета.

Случай, когда оси вращенія щита и подкоса не совпадаютъ. Выше мы предположили, что щитъ и подкосъ имѣютъ общую ось вращенія. Щиты на Сенскихъ плотинахъ устроены такимъ образомъ, что ось вращенія подкоса расположена ниже оси вращенія щита на 0,285 м. (Табл. 4, фиг. 33). Такое устройство измѣняетъ распредѣленіе силъ, о чемъ подробно изложено въ ст. Инженера Lavollée въ Annales des P. et. C. за 1883 годъ.

Здѣсь мы приведемъ только окончательные выводы этой статьи, а именно: усилія, сжимающія подкосъ и растягивающія раму, получаютъ наименьшее значеніе, когда обѣ указанныя оси вращенія совпадаютъ одна съ другой, но эти усилія не увеличиваются болѣе, какъ на  $10\%$  въ случаѣ, если обѣ оси вращенія расположены одна отъ другой на разстояніи 0.285 м., что однако окупается многими преимуществами, какъ это мы увидимъ ниже.

При двухъ осяхъ вращенія, кромѣ увеличенія усилій, растягивающихъ раму, являются еще усилія, ее изгибающія, которыя необходимо принять во вниманіе при опредѣленіи размѣровъ составныхъ частей рамы.

\*) Тогда углы  $\alpha$  и  $\gamma$  являются дополнительными къ  $90^\circ$  и  $\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \gamma = 1$ ;  $\cos \gamma = \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \gamma$ .

\*\*) Тогда углы  $\alpha$  и  $\beta$  будутъ дополнительными до  $90^\circ$  и  $\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta = 1$ ;  $\cos \beta = \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \beta$ .



**Положеніе оси вращенія щита.** Чувствительность (къ опрокидыванію) щита зависитъ отъ высоты, на которой расположена ось его вращенія. Если ось совпадаетъ съ центромъ давленія воды, щитъ будетъ находиться въ неустойчивомъ положеніи и малѣйшее поднятіе горизонта воды въ нижнемъ-ли, въ верхнемъ-ли бьефѣ вызоветъ вращеніе щита.

Обратно, если эта ось расположена на половинѣ длины щита, щитъ не измѣнитъ своего положенія при самыхъ различныхъ стояніяхъ горизонта воды; внезапное опрокидываніе щита никогда не будетъ имѣть мѣста. Между этими предѣлами и надо держаться.

Замѣтимъ, что большая чувствительность щита облегчаетъ управленіе щитомъ, но чрезвычайная чувствительность представляетъ и большія неудобства. Такъ напр., если бы по какой-либо причинѣ одинъ или нѣсколько щитовъ вдругъ приняли горизонтальное положеніе, уровень воды въ нижнемъ бьефѣ сейчасъ повысился бы, вслѣдъ затѣмъ повернулись бы и всѣ остальные щиты: вода изъ верхняго бьефа устремилась бы въ нижній, причинивъ мѣстный паводокъ; интересы судоходства и, равнымъ образомъ, прибрежнаго населенія могли бы быть нарушены.

Подобныя явленія неоднократно происходили въ первое время службы щитовъ Шаноана на р.р. Іонъ и Сенъ. Самый незначительный мѣстный дождь, причинявшій самое ничтожное поднятіе уровня воды, служилъ уже достаточной причиной для того, чтобы щиты стали вращаться. Послѣдствіемъ этого являлся внезапный паводокъ, распространявшійся на 200 километровъ.

До 1881 года, когда завершены были работы по переустройству упомянутыхъ плотинъ, описанное явленіе въ дождливые годы повторялось безпрерывно. Въ 1879 году изъ 215 дней, въ теченіе которыхъ плотины были закрыты, зарегистрировано 202 случая автоматическаго вращенія щитовъ. Добавимъ, что кромѣ указанной выше опасности непредвидѣнныхъ паводковъ, внезапное открытіе отверстія плотинъ порождало въ нижележащихъ частяхъ рѣки сильныя теченія, причиняющія не мало бѣдъ судамъ.

Упомянутая нами уже не разъ статья инженера Lavollée содержитъ въ себѣ анализъ условій устойчивости щитовъ, выведенный въ предположеніи одного статистическаго давленія воды. Тѣмъ же теоретическимъ предположеніемъ руководствовались и мы во всѣхъ нашихъ предыдущихъ разсужденіяхъ. И опытные данныя приводятъ въ свою очередь къ такимъ выводамъ:

1) Когда нормальное положеніе горизонта воды въ нижнемъ бьефѣ только немногимъ превосходитъ высоту флютбета, т. е. въ случаѣ значительно возвышенныхъ флютбетовъ, длина нижней части щита можетъ быть на 36%, меньше всей его длины. При этомъ условіи внезапное открытіе щитовъ мало вѣроятно и случайное опрокидываніе одного щита не оказываетъ вліянія на остальные.

2) При болѣе пониженномъ флютбетѣ и при щитахъ значительныхъ размѣровъ необходимо принять всѣческія мѣры для предупрежденія автоматическаго вращенія щитовъ, даже и такія, которыя бы нѣсколько затрудняли управленіе щитами. При этихъ условіяхъ длина нижней части щита берется равной 0,49 общей его длины. Это отношеніе и было принято въ послѣднее время для р. Сены.

**Рамы, подшипники, пяты, башманы.** На Табл. 4 фиг. 33 показанъ типъ рамы, призмѣнный къ плотинамъ на верхней Сенѣ. Съ перваго взгляда на чертежъ можемъ заключить, что рама устроена весьма прочно и солидно. Мы уже говорили, что помимо продольныхъ напряженій рама подвержена дѣйствію изгибающихъ усилій, которыя должны были быть приняты во вниманіе при опредѣленіи, какъ размѣровъ, такъ и конетрукціи рамы. Кромѣ того, не слѣдуетъ упускать изъ виду, что при различныхъ манипуляціяхъ со щитами рама подвергается дѣйствію самыхъ разнородныхъ усилій, какъ по характеру, такъ и по величинѣ весьма неопредѣленныхъ.

Необходимо также принять въ расчетъ и возможность ударовъ судовъ или другихъ плавающихъ по рѣкѣ предметовъ.

При всѣхъ этихъ условіяхъ самая сильная конетрукція рамы находитъ полное оправданіе. Рамѣ придаютъ трапецидальную форму и увеличиваютъ насколько возможно длину обоихъ основаній для большей устойчивости системы и правильности ея функцій. Верхнее основаніе, или распорка продолжена по обѣ стороны въ видѣ шеекъ вала діаметромъ 0,06 метра, которыя помѣщаютъ въ подшипники, укрѣпленные къ стойкамъ щита. На Табл. 4, фиг. 32 показаны



въ маломъ масштабѣ видѣ съ верхней части, съ нижней и сбоку. Горизонтальный разрѣзъ по оси подшипника на Табл. 4, фиг. 34 вполне выясняетъ конструкцію рамы. Діаметръ подшипника, равный 0,065 метр., больше діаметра шейки вала на 0,005 м. Нижняя распорка такъ же, какъ и верхняя, по обѣимъ сторонамъ оканчивается шейками, діаметромъ 0,06 метр., входящими въ подшипники, укрѣпленные въ кладкѣ флютбета. Видѣ этихъ подшипниковъ показанъ на Табл. 5, фиг. 36.

Отверстіе 0,065 м., предназначенное для шейки, находится въ нижней части вертикальнаго углубленія прямоугольнаго сѣченія съ легкимъ раструбомъ, облегчающимъ постановку на мѣсто шейки.

Описанные парные подшипники расположены такимъ образомъ, что закрѣпленіе въ нихъ обѣихъ шеекъ можетъ быть достигнуто при помощи одной цѣльной деревянной доски, имѣющей клинообразное сѣченіе, отвѣчающее вертикальнымъ углубленіямъ или гнѣздамъ (Табл. 5 фиг. 37). Доску эту называютъ заклиной. Для уборки щита заклинка выдергивается изъ занимаемыхъ ею гнѣздъ водолазомъ. На практикѣ, однако, наблюдались случаи, что заклинка сама выходила изъ своихъ гнѣздъ, а съ ней вмѣстѣ и ось рамы изъ своихъ подшипниковъ, причемъ щитъ опрокидывался на флютбетъ. Явленіе это объясняется дѣйствіемъ слагающей (давленія воды), стремящейся приподнять раму. Для устраненія подобныхъ случаевъ заклинка соединяется съ порогомъ посредствомъ болта или чеки съ проушиной.

Для уменьшенія напряженій въ рамѣ и подкосѣ, наклонъ рамы слѣдовало бы дѣлать въ ту же сторону, какъ и щита, для чего располагать низъ рамы поближе къ щиту, однако на дѣлѣ такое сближеніе рамы со щитомъ встрѣчается рѣдко, обыкновенно же центръ тяжести щита и рамы проектируется между ихъ основаніями, вслѣдствіе чего при сборкѣ, напр., щита, или его ремонтѣ, щитъ можетъ держаться въ стоячемъ положеніи безъ помощи подкоса, что, конечно, представляетъ нѣкоторыя преимущества. Эти именно соображенія натолкнули строителей плотины на Верхней Сенѣ на мысль примѣнить для подкоса отдѣльную ось. При одной оси вращенія всякая починка поврежденій, происшедшихъ въ узлѣ сочлененій подкоса рамы и щита, соединена съ большими затрудненіями, тогда какъ при двухъ отдѣльныхъ осяхъ, даже подкосъ можетъ быть замѣненъ новымъ, а щитъ, поддерживаемый рамой, все же останется въ своемъ положеніи. Точно также поломки верхнихъ подшипниковъ рамы не повлекутъ за собою паденія щита.

**Подкосъ.** Подкосъ, кромѣ сжимающихъ усилій, подвергается еще весьма сильнымъ ударамъ, почему и долженъ быть устроенъ особенно прочно. Считаясь только со сжимающими усиліями, мы должны были бы подкосъ въ видахъ его жесткости дѣлать возможно короткимъ, но, какъ мы выше видѣли, есть другія обстоятельства въ пользу его удлиненія и тѣмъ большаго, чѣмъ больше онъ нагруженъ, такъ какъ при этомъ дѣйствующія на раму и подкосъ усилія уменьшаются и поднятіе щита облегчается.

На послѣднее, именно, и слѣдуетъ обратить особенное вниманіе. Когда часть щитовъ приподнята, вся сила теченія сосредоточивается въ открытой еще части плотины и при подъемѣ послѣднихъ щитовъ теченіе бьетъ прямо въ подкосъ, пятой своей скользящей по флютбету; отъ ударовъ воды подкосъ то приподнимается надъ флютбетомъ, то опять на него падаетъ. Если при этомъ отдать подъемныя цѣпи, думая, что пята подкоса попала на мѣсто въ выступы упорной коробки, то щитъ быстро падаетъ обратно на флютбетъ, увлекая за собою всѣ приспособленія и угрожая безопасности рабочихъ.

На Табл. 5 фиг. 38 показано устройство подкоса въ деталяхъ. Изъ этого чертежа видно, что тѣло подкоса цилиндрическое 0,09 метр. діаметр.; нижняя часть подкоса утолщена до 0,15 метр. въ высоту при той же толщинѣ 0,09 метр. Это утолщеніе облегчаетъ дѣйствіе рейки съ пятками и гарантируетъ правильную укладку щитовъ. Вмѣстѣ съ тѣмъ, сосредоточеніе значительнаго вѣса въ подкосѣ на основаніи вышесказаннаго способствуетъ тому, что подкосъ скорѣе попадаетъ на выступъ упорной коробки. Показанный на чертежѣ кольцевой приливъ на стержнѣ подкоса, находящейся на одной трети его длины, считая снизу, служитъ для болѣе удобнаго захвата подкоса, въ случаѣ надобности, канатомъ или багромъ. Голова подкоса устроена на подобіе обыкновеннаго шатуна и приспособлена къ обхвату верхней оси; въ то же время она представляетъ и особенности, позволяющія подкосу нѣсколько уклоняться изъ плоскости къ оси вращенія только въ ту сторону, куда его направляетъ йка съ пятой; на



Табл. 5, фиг. 39, показано въ большомъ масштабѣ, какимъ образомъ удовлетворяютъ этимъ условіямъ. Для этого служатъ легкія утолщенія обоймы и овальные уширенія въ подпипникѣ. По чертежу—подкосъ можетъ уклониться только влѣво.

**Упорная коробка.** Необходимою принадлежностью подкоса является чугунная коробка, состоящая изъ 2-хъ частей: (Табл. 5 фиг. 40) упорной и направляющей.

Упорная коробка представляетъ двѣ наклонныхъ плоскости: верховую, съ крутымъ наклономъ, въ которую упирается пята подкоса, и низовую—съ пологимъ наклономъ. Подкосъ, будучи сдвинутъ рейкой съ мѣста, начинаетъ подъ давленіемъ воды скользить вдоль криволинейной направляющей; направляющая эта устроена такимъ образомъ, что подкосъ при концѣ своего движенія снова приходитъ въ плоскость, нормальную къ оси вращенія. При подъемѣ же щита пята подкоса слѣдуетъ по прямой линіи и, поднимаясь медленно по полой наклонной плоскости, опускается быстро по крутой и попадаетъ на свое мѣсто. Получающійся при этомъ ударъ служитъ сигналомъ для отдачи подъемныхъ канатовъ и цѣпей.

**Рейка съ заплечиками.** Эта рейка состоитъ изъ желѣзной полосы, показанной на Табл. 5 фиг. 41, сѣченія  $0,08 \times 0,03$ . Она снабжена заплечиками, выступающими на 0,09 м. и находящимися на такомъ разстояніи другъ отъ друга, что зацѣпленіе заплечиковъ съ подкосами происходитъ не одновременно, а послѣдовательно. Передвиженія рейки должны совершаться насколько возможно легко и точно. Для этой цѣли служатъ горизонтальные катки, по которымъ рейка перемѣщается, крючки, препятствующіе рейкѣ подниматься вверхъ, наконецъ, направляющія изъ круглаго желѣза, между которыми ходятъ вертикальные штыри, прикрѣпленные къ рейкѣ. Такимъ образомъ движеніе рейки строго регулируется.

Рейка чуть-чуть выступаетъ надъ поверхностью флотбета и расположена рядомъ съ опорной коробкой.

Движеніями рейки управляютъ съ берега при помощи механизмовъ, помѣщаемыхъ въ колодцѣ устоевъ. Сила этихъ механизмовъ, весьма значительна и на р. Маасъ въ Бельгій она достигаетъ 12000 килл. съ тѣмъ расчетомъ, чтобы возможно было достигнуть раздробленія случайно попадающихъ подъ рейку камней. Предосторожность эта дѣйствительно не лишняя, потому что, хотя рейка съ заплечиками и представляетъ изъ себя довольно остроумное приспособленіе, но въ то же время легко подвергающееся порчѣ и потому, дѣйствительно, полезно дѣлать двигающіе рейку механизмы на всякій случай возможно сильными.

На основаніи сказаннаго длина рейки для жесткости должна бы быть возможно меньше, вмѣстѣ съ тѣмъ въ виду того, что разстоянія между заплечиками должны быть меньше разстоянія между щитами и продольное перемѣщеніе рейки тоже меньше этого разстоянія, длина рейки сама собою ограничивается небольшими, вполнѣ опредѣленными, размѣрами, такъ что при помощи одной рейки такого устройства нѣтъ возможности послѣдовательно одинъ за другимъ сталкивать подкосы по всей плотинѣ. Для достиженія же послѣдней цѣли примѣнили слѣдующее приспособленіе: первые отъ устоевъ щиты укладываютъ послѣдовательно одинъ за другимъ, слѣдующіе же—группами по два, по три и т. д., причемъ, речные заплечики, соответствующіе каждой группѣ, уже находятся на такомъ же взаимномъ разстояніи, какъ щиты. Въ тѣхъ же случаяхъ, когда при значительной длинѣ отверстій, нѣтъ возможности примѣнить одну рейку, устраиваютъ двѣ рейки, управляемыя съ противоположныхъ сторонъ.

Были попытки снабдить рейки еще и контръ-заплечиками, которые расположены непосредственно у подкосовъ и служатъ для того, чтобы помѣшать паденію щита отъ случайной причины.

Разстояніе между контръ-заплечиками должно быть совершенно такое, какъ и между щитами, тогда какъ разстояніе, между самими заплечиками больше или меньше разстоянія между щитами смотря потому, въ какомъ направленіи предположено укладывать щиты. Правда, такое устройство какъ бы гарантируетъ безопасность отъ непредвидѣнныхъ и случайныхъ паденій щитовъ, но съ другой стороны, оно еще болѣе усложняетъ устройство рейки и, стало быть, увеличиваетъ возможность порчи ея, такъ что преимущество этой рейки является сомнительнымъ.

Какъ мы сказали, часть механизмовъ, управляющихъ рейкой, помѣщается въ колодцѣ, т. е. въ такомъ мѣстѣ, гдѣ легко складываются наносы. Поэтому весьма полезно эти колодцы соединить съ верхнимъ бьефомъ, чтобы располагать напоромъ для очистки дна колодца отъ ила при помощи теченія.



Еще послѣднее замѣчаніе. Ежегодно рейка должна быть подробно осматрѣна при помощи водлаза. Послѣ такого осмотра и исправленія замѣченныхъ дефектовъ можно быть увѣреннымъ въ исправномъ дѣйствіи рейки при первой укладкѣ щитовъ, при второй же и третьей легко можетъ случиться, что тотъ или другой щитъ придется уложить вручную.

**Крышка Ламбера.** Скажемъ еще нѣсколько словъ объ одномъ усовершенствованіи, примененномъ на *Ionnet*. Можетъ случиться, что при подъемѣ щитовъ подкосъ перейдетъ не только упорную площадку, но и рейку и обопрется затѣмъ въ послѣднюю, что можетъ имѣть плохія послѣдствія. Для предупрежденія подобныхъ случаевъ была устроена *Ламберомъ* чугунная контрь-упорная коробка, показанная на Табл. 5 фиг. 42. Верховая ея часть представляетъ собою наклонную плоскость, а низовая—вертикальную поверхность, примыкающую къ рейкѣ. Изъ чертежей уже ясно, что подкосъ, перешедши за предѣлы рейки, легко соскользнетъ обратно на упорную подушку. Выступы на контрь-упорной подушкѣ, прикрывающіе рейку, замѣняютъ собою вышеуказанные крючья.

**Постоянныя части плотины.** Преимущества и недостатки системы Шаноана. Флотбетъ плотины Шаноана существенно не отличается отъ каменныхъ флотбетовъ другихъ плотинъ, въ деталяхъ же представляетъ слѣдующія особенности:

1) порогъ плотины устраивается обыкновенно изъ деревяннаго бруса, задѣланнаго въ тесовую кладку и прикрѣпленъ къ ней болтами; въ свою очередь эта кладка связана съ бетоннымъ основаніемъ посредствомъ вертикальныхъ тяжей и чугунныхъ плитъ. Передняя часть порога имѣетъ металлическія накладки, принимающія на себя ударъ щитовъ.

2) другой деревянный брусъ, параллельный порогу и задѣланный непосредственно выше упорной коробки въ тесовую кладку, служить для укрѣпленія рейки съ заплечиками и ея принадлежностей.

Тесовые камни, въ которые задѣланы упорныя коробки, упираются въ обыкновенную каменную кладку, достаточныхъ размѣровъ для противодѣйствія давленіямъ отъ подкосовъ. Кромѣ того, на флотбетѣ устраиваются иногда выступы, на которые ложатся щиты, о чемъ было уже упомянуто выше.

**Преимущества и недостатки затворовъ системы Шаноана.** По отношенію къ водонепроницаемости система Шаноана можетъ быть признана вполне удовлетворительной: щиты, построенные на заводѣ съ возможной аккуратностью, сами по себѣ представляютъ совершенно водонепроницаемыя площади; промежутки же между отдѣльными щитами хотя и довольно значительны, могутъ быть, какъ мы уже знаемъ, плотно закрываемы.

Верхній край щитовъ образуетъ водосливъ. Если щиты достаточно устойчивы, а берега рѣки не особенно пологи, то толщина переливающегося слоя можетъ измѣняться въ нѣкоторыхъ предѣлахъ въ зависимости отъ расхода, такъ что пропускъ небольшихъ паводковъ можетъ совершаться безъ всякихъ манипуляцій. Само собой разумѣется, что примѣненіе дополнительныхъ щитковъ или калитокъ въ значительной степени облегчитъ правильность пропуска мѣняющагося расхода. Это слѣдуетъ считать особенно цѣннымъ преимуществомъ системы, такъ какъ практика показала, что всякія манипуляціи со щитами, производимыя вслѣдствіе измѣненій въ расходѣ, еще болѣе усиливаютъ вліяніе этихъ измѣненій.

Наконецъ, укладка щитовъ достигается необыкновенно легко и замѣчательно быстро. Такъ на Верхней Сенѣ средняя продолжительность укладки щитовъ на плотинѣ длиною 65,10 метр. равнялась 5-ти минутамъ и 15 секундамъ.

Изъ сказаннаго видно, что система Шаноана представляетъ очень много данныхъ для правильнаго регулированія подпора и пропуска водъ при самыхъ различныхъ обстоятельствахъ.

Въ то время, когда для судоходства необходимы были пропуски, возможность быстрого открытія отверстія имѣла первостепенное значеніе. Теперь, конечно, судоходство происходитъ при другихъ условіяхъ, однако и теперь быстрота открытія затворовъ по направленію теченія весьма цѣнна, особенно въ нѣкоторыхъ исключительныхъ случаяхъ, какъ, напримѣръ, при пропускѣ льда или другихъ плавающихъ тѣлъ. Можно насчитать не мало такихъ случаевъ, когда щиты подъ дѣйствіемъ осенняго ледохода сами опрокидывались или когда быстрое открытіе



отверстія плотины при рѣкѣ, покрытой уже льдомъ, предупреждало неминуемыя бѣдствія, которымъ могла бы подвергнуться плотина при затворахъ по другой системѣ.

Въ этомъ, пожалуй, главное преимущество плотинъ Шаноана.

Констатировавъ положительныя свойства системы, мы не можемъ умолчать и объ отрицательныхъ.

Прежде всего система Шаноана плохо приспособлена для поддерживанія подпорнаго горизонта на различной высотѣ. Отношеніе между длинами верхней и нижней частями щита, между полной длиной щита и длиной рамы и подкоса, точно опредѣлены и строго соотвѣствуютъ принятымъ для расчета даннымъ, причемъ всѣ эти отношенія должны измѣниться при измѣненіи какой-нибудь одной данной величины. Отсюда слѣдуетъ, что система Шаноана не допускаетъ никакихъ уклоненій отъ данныхъ, принятыхъ въ основаніе при расчетѣ, и что необходимость измѣненія расчетнаго подпора внесетъ за собою обязательную передѣлку всѣхъ подводныхъ частей плотины.

Далѣе, хотя самое опрокидываніе щитовъ, дѣйствительно, представляетъ преимущества въ случаяхъ пропуска неожиданныхъ паводковъ, но въ то же время имѣетъ отрицательное значеніе въ смыслѣ сохраненія извѣстной правильности и постоянства въ режимѣ потока; всякое самоопрокидываніе влечетъ за собою образованіе вала въ нижнемъ бьефѣ, вредное вліяніе котораго можетъ быть даже увеличено несоотвѣтственными манипуляціями со щитами на плотинахъ, лежащихъ ниже; послѣ прохода вала является недостатокъ воды для судоходства. Если при этомъ на рѣкѣ или ея притокахъ имѣются какіе либо заводы, правильный ходъ изъ дѣятельности тоже нарушается. Въ виду этого оказалось болѣе удобнымъ устраивать щиты возможно болѣе устойчивые.

Самоопрокидываніе щитовъ такъ же, какъ и быстрая ихъ укладка не безопасны въ смыслѣ сохранности флютбета. Не всегда проходитъ безнаказанно быстрый переходъ всего запаса воды изъ одного бьефа въ другой. Къ этому приему можно прибѣгать съ соблюденіемъ самыхъ строгихъ мѣръ предосторожности при возможно меньшей разности горизонтовъ.

Медленная и частичная укладка щитовъ при посредствѣ рейки представляетъ тѣ же неудобства, такъ какъ порядокъ укладки не можетъ быть измѣненъ по желанію. И при укладкѣ только нѣкоторыхъ щитовъ, всегда одна и таже часть флютбета будетъ подвергаться наибольшему размыву.

Укладка щитовъ вручную имѣетъ почти такія же послѣдствія, такъ какъ при укладкѣ cadaго отдѣльнаго щита въ образуемое отверстіе устремляется весьма сильная струя, могущая произвести тѣ или иныя разрушенія.

При управленіи щитами возможны ошибки и недоразумѣнія. При укладкѣ щитовъ рейка перестаетъ дѣйствовать или дѣйствуетъ неисправно, и часть щитовъ остается въ стоячемъ положеніи. При подъемѣ щитовъ возможно, что какой нибудь щитъ приметъ подъ дѣйствіемъ силы теченія такое положеніе, что лишь съ большими затрудненіями можетъ быть приподнятъ, или своею верхнею частью примкнетъ къ подкосу, причемъ его нижняя часть подвергается дѣйствію теченія.

Не слѣдуетъ, однако, преувеличивать значеніе указанныхъ неудобствъ.

Имѣя въ своемъ распоряженіи вышеописанную нами лебедку Lévy на служебномъ мостикѣ или на суднѣ, можно выйти изъ всякаго затрудненія. Вотъ какъ поступаютъ въ томъ случаѣ, когда одинъ изъ щитовъ вслѣдствіе неисправности рейки остался неопущеннымъ: натягиваютъ возможно сильнѣе щитъ за верхнюю его часть противъ теченія, ослабляя такимъ образомъ треніе между подкосомъ и упорной подушкой; потомъ при помощи особаго устройства багра сталкиваютъ подкосъ съ подушки, причемъ щитъ, направляемый цѣпью лебедки, тихонько ложится на флютбетъ. Здѣсь необходимо замѣтить, что въ такомъ случаѣ наличность контръ-запечниковъ можетъ повести къ серьезнымъ неудобствамъ.

По мнѣнію инженера де-Ма самый серьезный недостатокъ плотинъ Шаноана заключается въ устройствѣ служебнаго мостика, безъ котораго, какъ онъ полагаетъ, нельзя совсѣмъ обойтись. Выше сказано было, что мостику этому придаютъ почти такую же прочность, какая требуется для фермъ, поддерживающихъ спицы. Но тогда къ чему щиты Шаноана? Отверстіе могло бы быть закрыто и спицами. Въ то же время служебный мостикъ низводятъ почти къ нулю и одно изъ основныхъ преимуществъ системы Шаноана, а именно возможность быстрого открытія отверстія (съ движеніемъ щитовъ по направленію сверху внизъ) и без-



препятственного пропуска внезапно появляющихся плавающих тѣлъ и главнымъ образомъ льда.

Инженеръ *де-Ма* полагаетъ, что въ сущности мостикъ вовсе не есть необходимость. Не слѣдуетъ забывать, что первоначальное назначеніе служебнаго мостика состояло въ томъ, чтобы дать возможность управлять вручную водоспусками, которые, по мнѣнію изобрѣтателя, должны были дѣйствовать совершенно автоматически. Фермы *Поаре*, въ частномъ случаѣ, служили лишь средствомъ для устраненія недостатковъ въ тѣхъ приспособленіяхъ, которыя иначе оказались бы бесполезными. Существуютъ же плотины Шаноана и безъ мостиковъ. *Если бы въ настоящее время признано было удобнымъ примѣненіе системы Шаноана, то по мнѣнію де-Ма это было бы целесообразнымъ только при условіи устройства ея безъ служебнаго мостика.*

Съ такой оговоркой система Шаноана разныхъ типовъ можетъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ имѣть преимущества передъ плотинами иныхъ системъ.

**Видоизмѣненіе щитовъ Шаноана—система Паско.** Коробка съ двойнымъ уступомъ. Инженеръ *Паско*, признавая неудобство рейки съ заплечиками, придумалъ особое приспособленіе (Табл. 5; фиг. 43) описанное имъ въ слѣдующихъ словахъ:

„Впереди упорной площадки Шаноана имѣется еще одинъ выступъ, вертикальный обрѣзъ котораго составляетъ очень острый уголъ съ осью направляющей части коробки. Этотъ добавочный выступъ назовемъ „направляющимъ выступомъ“, а все приспособленіе „двухступенчатой коробкой“.

„Поднятіе щита совершается такъ же, какъ и раньше: рабочій набираетъ цѣпь отъ нижней части щита, пока подкосъ не станетъ у перваго выступа. Сигналомъ для этого служить звукъ отъ удара пята подкоса объ основаніе коробки или положеніе мѣтки на цѣпи. Затѣмъ цѣпь стравливается на тормазъ лебедки, и щитъ приходитъ въ требуемое положеніе“.

Кладка же щита производится по совѣтамъ новому и еще болѣе простому способу.

„Выбравъ ту же цѣпь и приведя щитъ въ навѣсъ (уравновѣшенное положеніе), продолжаютъ дѣйствовать лебедкой до тѣхъ поръ, пока подкосъ не соскочитъ съ направляющаго уступа; затѣмъ начинаютъ медленно стравливать цѣпь тормазомъ; подкосъ, слѣдуя по вертикальной наклонной плоскости этого уступа, попадаетъ въ направляющую часть коробки и щитъ спокойно ложится на мѣсто“.

Такимъ образомъ рейка съ заплечиками можетъ быть упразднена. Помимо упраздненія приспособленія, сложнаго и нерѣдко капризнаго, инженеръ *Паско* указываетъ еще и на другія преимущества, связанныя съ его изобрѣтеніемъ.

Во 1-хъ, каждый отдѣльный щитъ не зависитъ отъ смежныхъ съ нимъ, будучи самъ снабженъ вѣмъ, что требуется для его подъема или укладки.

Во 2-хъ, укладка щитовъ не сопровождается сотрясеніемъ и можетъ быть производима въ любомъ порядкѣ, что очень важно въ смыслѣ устраненія наносовъ.

Во 3-хъ, приспособленіе Паско на столько же просто и обыкновенно насколько рейка сложна и замысловата; оно допускаетъ возможность устройства еще третьяго выступа съ цѣлью придать въ случаѣ надобности щиту болѣе наклонное положеніе и опустить водосливную плоскость ниже нормальнаго подпорнаго горизонта.

Наконецъ, въ 4-хъ, приспособленіе Паско не дорого, близко подходитъ по своей стоимости къ коробкѣ Шаноана. Кромѣ того, оно допускаетъ возможность устройства плотины по частямъ между отдѣльными перемычками вѣдѣтіе упомянутой уже независимости каждого щита отъ остальныхъ, тогда какъ для укладки и сборки рейки съ заплечиками необходимо осушить флютбетъ по всей его длинѣ.

**Плотина на р. Saône около Mulatière.** Система Шаноана была примѣнена на р. Саонѣ у самаго впаденія этой рѣки въ Рону; постройка плотины сопровождалась нѣсколькими исключительными условіями. Плотина въ Mulatière представляетъ одно отверстіе длиною 103,6 м.; высота напорнаго горизонта 4 м. надъ порогомъ, разность горизонтовъ при межени Роны 2,60 м. Маневры со щитами производятся со служебнаго мостика. Въ виду внезапныхъ наводковъ на рѣкѣ и сравнительной продолжительности (нѣсколько часовъ) маневровъ при-  
нуждены были устроить служебный мостикъ на высотѣ 2-хъ метровъ надъ напорнымъ горизонтомъ.



Число щитовъ 69, высота ихъ 4,36 м. и ширина 1,40 м.; разстояніе оси отъ оси 1,50 м., разстояніе между щитами 0,10 м.; точка вращенія щита по срединѣ полотна, вслѣдствіе чего самопрокидываніе щита невозможно. Уклонъ щитовъ 2:7, что соответствуетъ углу  $15^{\circ}56'43''$ . Столь значительный уклонъ приданъ былъ съ цѣлью возможнаго уменьшенія усилий, отрывающихъ раму отъ флютбета.

Всѣ манипуляціи совершаются при помощи маленькой паровой лебедки, двигающейся по мостику. Время, необходимое для поднятія всѣхъ щитовъ—8 часовъ и для укладки—4½ часа.

Щиты снабжены калитками 1,55 м.  $\times$  0,90 м. и спеціальными приспособленіями для облегченія дѣйствія послѣдними.

Щиты устроены изъ желѣза; ребра щита составлены изъ швеллеровъ, обшитыхъ желѣзомъ толщиною 4 мм. и окаймленныхъ уголкою 0,06 м.

Способъ прикрѣпленія рамы къ флютбету совершенно отличается отъ вышеописаннаго; каждая нога рамы заканчивается обушиной, входящей въ парные обоймы, зафланжы въ флютбетъ; обѣ ноги рамы соединены взаимно стальнымъ валомъ, проходящимъ своими концами въ обоймахъ и обушинѣ и закрѣпленнымъ въ нихъ при помощи шайбъ и шплинтовъ.

Порогъ—изъ чугуна, что не представляетъ въ разсматриваемомъ случаѣ неудобствъ, такъ какъ щиты съ осью вращенія, расположенной по срединѣ, вполне устойчивы; при томъ же всѣ манипуляціи со щитами совершаются при помощи лебедокъ, вслѣдствіе чего удары о порогъ не представляютъ опасности.

Высота фермы служебнаго мостика 6,80 м.; если при такой высотѣ поставить по одной фермѣ противъ каждого щита, то при укладкѣ на флютбетъ, 5 фермъ легли бы одна на другую, что потребовало бы углубленія въ флютбетъ на 1,20 м., а такое углубленіе способствовало бы образованію заносовъ и усложнило бы конструкцію флютбета. Вслѣдствіе этого предпочли поставить фермы на разстояніи 3-хъ метровъ одна отъ другой и соединить ихъ желѣзными листами, которые при укладкѣ фермъ ложатся вдоль нихъ. Для того, чтобы толщина этихъ листовъ не увеличивала толщины уложенныхъ фермъ, было придумано простое устройство, позволяющее каждому листу имѣть нѣсколько меньшіе размѣры, чѣмъ перекрывающій имъ пролетъ, благодаря чему онъ при укладкѣ и не перекрывается слѣдующей фермой.

Каждая ферма снабжена сверху осями расположенными одна отъ другой на разстояніи 0,34 метра; одна изъ этихъ осей служить для поддержанія своего листа, а другая для закрѣпленія листа соседней фермы. Фермы устанавливаются послѣдовательно посредствомъ особаго багра, приводимаго въ движеніе, паровой лебедкой.

Послѣдній пролетъ перекрывается катучимъ мостикомъ, который убирается на устой. Наконецъ, фермы имѣютъ симметрическую трапецидальную форму простыхъ подпорныхъ фермъ, хотя онѣ должны сопротивляться поперечнымъ силамъ, проявляющимся при дѣйствіи паровой лебедки.

Въ общемъ Мюласьерская плотина заслуживаетъ вниманія инженеровъ какъ по своимъ размѣрамъ, такъ и по различнымъ своимъ новымъ приспособленіямъ; особеннаго вниманія заслуживаетъ коробка съ двумя уступами.

Съ другой стороны слѣдуетъ признать, что въ этой системѣ не проведенъ одинъ изъ существенныхъ принциповъ плотины Шаноана; въ ней нѣтъ рейки съ запличиками, что лишаетъ эту плотину *характернаго* свойства системы Шаноана открываться въ нѣсколько минутъ въ случаѣ опасности отъ неожиданнаго приближенія плавающихъ тѣлъ или ледохода.

Въ эксплуатаціонномъ отношеніи Мюласьерская плотина дала прекрасные результаты; однако можно констатировать, что фермы ея для служебнаго мостика слабоваты, если не для маневровъ со щитами, то по отношенію къ тѣмъ поперечнымъ усилиямъ, которыя проявлялись при укладкѣ фермъ и поднятіи. Уложенныя на флютбетъ фермы покрываются наносами, вслѣдствіе чего при поднятіи часто ломаются. Но этотъ недостатокъ не является слѣдствіемъ системы и не можетъ умалить ея положительнаго значенія.

Плотина на островѣ Девиса на Огіо. Какъ плотины, описанныя раньше, такъ и система Паско были воспроизведены за-границей.

Наиболѣе заслуживающимъ вниманія представляется примѣненіе ея въ Америкѣ на р. Огіо.



На Международномъ Конгрессѣ утилизаціи проточныхъ водъ, состоявшемся въ Парижѣ во время выставки 1889 г. М. Мерилль, американскій полковникъ, экспонируя замѣчательныя работы, произведенныя имъ на Огіо, сдѣлалъ по этому поводу очень интересное сообщеніе, которое можно резюмировать слѣдующимъ образомъ.

Когда въ Соединенныхъ Штатахъ подняли вопросъ о регулированіи рѣкъ, то прежде всего стали изучать различныя системы разборчатыхъ плотинъ, примѣненныхъ во Франціи, для того, чтобы избрать тотъ типъ и ту конструкторію, которые слѣдовало бы примѣнить на мѣстѣ.

Признано было необходимымъ имѣть для судоходныхъ пролетовъ такую систему, которая давала бы самыя серьезныя гарантіи и предотвращала возможность какихъ-бы то ни было случайностей. Такъ, на примѣръ, поставлено было, какъ необходимое условіе, чтобы судоходное отверстіе плотины могло быстро открываться для пропуска водъ внезапно наступающихъ паводковъ.

Пришли къ заключенію, что только двѣ системы удовлетворяли требованіямъ этой программы, а именно: Поаре и Шаноана. Рѣшили же остановиться на послѣдней, такъ какъ при очень длинныхъ плотинахъ, построенныхъ по системѣ Поаре, пришлось бы имѣть въ запасѣ значительное число громоздкихъ частей, и кромѣ того опасались, что при быстро наступающемъ паводкѣ нельзя будетъ своевременно уложить фермы, а слѣдовательно возможны и перерывы въ движеніи судоходства, а возможность такихъ перерывовъ желательно было избѣгнуть во что бы то ни стало.

М. Мерилль, строитель плотины у острова Девиса на Огіо, рѣшилъ было сначала примѣнить рейку съ заплеками и придать плотинѣ ширину въ 400 д. (112 метровъ), но ознакомившись съ примѣненіемъ системы Паско на Мюласьерской плотинѣ, нашелъ, что эта система имѣетъ значительныя преимущества и очень подходяща для мѣстныхъ условій. Отбрасывая рейку съ заплеками, можно было бы безъ затрудненія увеличить ширину судоходнаго отверстія, что и было сдѣлано, такъ что въ настоящее время это отверстіе въ плотинѣ у острова Девиса имѣетъ ширину 559 ф. (170,50 м.), вскорѣ же оно будетъ расширено до 700 ф. (213,50 метр.).

Плотина эта такъ устроена, чтобы ею можно было управлять тремя способами; со служебнаго мостика, съ лодки и при особой помощи катучей лебедки, перемѣщающейся по пути уложенному на днѣ рѣки.

Опытъ показалъ, что отъ примѣненія катучей лебедки надо отказаться, такъ какъ дѣйствіе ея сильно затруднялось гравелистыми наносами. Служебные мостики на двухъ отверстіяхъ были снесены во время паводковъ и возстановленіе ихъ было признано излишнимъ.

Такимъ образомъ осталось *только служебное судно*, но судовыя приспособленія Шаноана требовали при большой длинѣ плотины очень утомительной работы отъ служащихъ. Въ виду этого судну придали большіе размѣры и на немъ поставили локомобиль, такъ что маневры стали производиться паромъ.

Этотъ способъ маневровъ былъ затѣмъ видоизмѣненъ въ 1888 году. Вслѣдствіе двукратнаго скопленія льда передъ плотиной служебное судно пришлось перевести черезъ шлюзы ниже плотины, откуда производили манипуляціи, необходимыя при системѣ Паско для укладки щитовъ.

Съ этого времени управленіе щитами производится такимъ образомъ. Для поднятія плотины служебное судно устанавливается выше плотины и щиты тянутъ при помощи цѣпи отъ лебедки, приводимой въ движеніе паромъ. Располагая же судно ниже плотины, можно было посредствомъ особаго багра подвинуть щитъ впередъ; въ этомъ случаѣ щитъ укладывался спокойно.

Слѣдовательно, въ результатѣ оказывается, что ни для плотинъ съ коробкой Шаноана, ни для плотинъ Паско, служебный мостикъ *не представляется необходимымъ*. Примѣненіе его можетъ быть вызвано въ частныхъ случаяхъ особыми соображеніями, но онъ не есть необходимая принадлежность системы. Такимъ образомъ, оказалось возможнымъ сохранить за щитовыми плотинами ихъ отличительное существенное свойство открываться быстро и полностью по направленію теченія.



О ПЛОТИНАХЪ ШАНОАНА.





2

THE UNIVERSITY OF CHICAGO



**Описание затвора системы Шаноана.** Затворъ *Шаноана* состоитъ (Табл. 11, фиг. 131-132 и 133):

1) изъ деревяннаго или желѣзнаго щита (или полотна) прямоугольной формы, вращающагося на горизонтальной оси, которая помѣщается на низовой поверхности щита ниже  $\frac{1}{3}$  и не выше  $\frac{1}{2}$  его высоты;

2) изъ желѣзной двуногой рамы, вращающейся тоже на горизонтальной оси, расположенной у самой поверхности флютбета; голова или верхняя часть этой рамы служитъ упомянутой осью вращенія щита;

3) изъ подкоса, вращающагося или на той же оси, на которой вращается самъ щитъ, или на другой, входящей какъ одно цѣлое въ составъ головы рамы; нижней своей оконечностью подкосъ можетъ упираться въ особую упорную подушку; этимъ подкосомъ щитъ поддерживается въ стоячемъ положеніи, прилегая своимъ основаніемъ къ порогу плотины.

Рядъ подобныхъ затворовъ, установленныхъ одинъ подлѣ другого на флютбетѣ поперекъ теченія, и образуетъ собою разборчатую часть плотины.

Пока равнодѣйствующая давленія воды на стоящій щитъ проходитъ ниже оси вращенія, щитъ остается въ покоѣ; если же эта равнодѣйствующая проходитъ выше оси вращенія, щитъ долженъ повернуться по направленію этого давленія.

Въ зависимости отъ положенія оси вращенія щита различаютъ два рода затворовъ: затворъ для судоходныхъ отверстій, щитъ котораго не долженъ автоматически поворачиваться и затворъ для водоспускныхъ отверстій, который напротивъ долженъ дѣйствовать автоматически, какъ только поддерживаемый имъ уровень горизонта воды достигнетъ напередъ опредѣленной высоты.

**Укладна затворовъ.** Для того, чтобы уложить затворъ, достаточно приложить къ нижней оконечности подкоса нѣкоторое усиліе, которое столкнуло бы подкосъ съ его упорной подушки; подкосъ, потерявъ точку опоры, начинаетъ скользить по направленію перпендикулярному къ оси вращенія щита: въ то же время и рама приходитъ въ движеніе около своей оси вращенія, слѣдуя тому же направленію, что и подкосъ; вмѣстѣ съ тѣмъ падаетъ и щитъ, прикрывая собою подкосъ и раму, когда тѣ займутъ предназначенное имъ мѣсто на флютбетѣ.

Сталкиваніе подкоса съ упорной подушки производится особой рейкой съ заплечиками, устанавливаемой на поверхности флютбета и снабженной на своей оконечности зубцами, которыми она зацѣпляетъ шестерню вертикальнаго вала лебедки. Сама лебедка помѣщается въ колодцѣ устроенномъ для этой цѣли въ устоѣ (Табл. 11, фиг. 138, 139, 140, 141, 142).

Необходимо замѣтить, что указанная рейка, будучи передвинута на извѣстную длину впередъ для сдвига подкосовъ, должна быть возвращена обратно въ прежнее ея положеніе. Изъ этого слѣдуетъ, что устройство подкоса и рамы щита должно быть таково, чтобы при лежащемъ положеніи затвора, движеніе рейки подъ нимъ могло совершаться безпрепятственно.

**Подыманіе затвора.** Щитъ своею осью раздѣляется на двѣ части, изъ которыхъ одной верхней (при стоячемъ положеніи щита) присвоимъ названіе „головы“, а другой нижней — „хвоста“ \*).

Для поднятія лежачаго затвора поступаютъ слѣдующимъ образомъ: у основанія хвоста имѣется кольцо или желѣзная дуга; дугу эту захватываютъ багромъ или цѣпью и тянутъ, затворъ начинаетъ подниматься, при чемъ щитъ, оставаясь въ положеніи близкомъ къ горизонтальному, не представляетъ значительнаго сопротивленія силѣ тяги; Такимъ образомъ постепенно щитъ поднимается вверхъ, рама поднимается также, вращаясь около своей нижней оси, а подкосъ, слѣдуя за щитомъ и рамой, скользитъ своею оконечностью по направленію къ упорной подушкѣ. Къ концу движенія щитъ сохраняетъ свое близкое къ горизонтальному положеніе, рама становится вертикально, а подкосъ попадаетъ на выступъ упорной подушки. Такимъ образомъ ось вращенія щита становится неподвижной, а щитъ по нажатіи хвоста внизъ или при отдачѣ подъемной цѣпи подъ дѣйствіемъ давленія воды приходитъ въ стоячее положеніе, прилегая основаніемъ хвоста къ порогу плотины.

\*) „Culasse“ „Volee“ — особые термины для частей щита — введены для большой ясности изложенія, такъ какъ названія нижняя и верхняя части щита помимо того, что они требуютъ трехъ словъ вмѣсто одного, иногда затемняютъ смыслъ фразы.



**Стопора щитовыхъ подшипниковъ.** Когда къ концу процесса подъема затвора, направление силы тяги составляетъ съ горизонтомъ черезъ-чуръ острый уголъ, то и щитъ принимаетъ положеніе, значительно уклоняющееся отъ горизонтальнаго съ сильно приподнятымъ хвостомъ. Сила теченія нажимаетъ на низовую поверхность хвоста, затрудняя приведеніе щита въ стоячее положеніе.

Для устраненія этого неудобства служатъ особые стопора или выступы на втулкахъ (или подшипникахъ), въ которыхъ вращается ось щита. Стопора эти при извѣстномъ уклонѣ щита, приходятъ въ соприкосновеніе съ ногами рамы и ограничиваютъ, такимъ образомъ, уголъ отклоненія щита отъ горизонта. Стопора эти такъ расположены, чтобы щитъ не могъ уклониться отъ горизонта на уголъ большой 15°. Однако это приспособленіе соединено тоже съ нѣкоторымъ неудобствомъ, о чемъ рѣчь будетъ ниже, а потому въ поздѣйшихъ постройкахъ съ введеніемъ служебныхъ мостиковъ, означенные *стопора болѣе не примѣняются*. Для того же чтобы облегчить приведенія щита приподнятаго уже затвора въ стоячее положеніе, служить добавочный грузъ, укрѣпляемый къ основанію хвоста.

**Лебедка.** Каждый затворъ подымается при помощи особой лебедки, помѣщающейся на завозвѣ (лодкѣ). При дѣйствіи лебедкой завозня упирается или на стѣнку устоя или на стоячіе уже щиты (Табл. 10, фиг. 107, 110, 113).

На плотинахъ Марны и Саоны и Port-à-l'Anglais лебедка ходитъ по служебному мостику, устроенному на фермахъ системы Пуаре (Табл. 8, фиг. 72, 76 и Табл. 6).

Въ этомъ случаѣ отъ хвоста идетъ цѣпь, другой конецъ которой привѣшанъ къ фермѣ мостика, передвигающагося по мосту лебедки при помощи этихъ цѣпей и подымаетъ затворы.

Когда же лебедка помѣщается на завозвѣ, подъемъ затвора совершается слѣдующимъ образомъ: рабочій беретъ въ руки шестъ, одинъ конецъ котораго привязанъ къ подъемному канату, идущему къ барабану лебедки, а другой, снабженный крюкомъ, служитъ для захвата подъ водою дуги (или конца) имѣющейся на нижней части хвоста. Можно бы и избѣгнуть употребленія шеста; для этого каждая голова одного щита соединяется съ хвостомъ слѣдующаго за нимъ, такъ что на каждомъ уже приподнятомъ щитѣ имѣется готовая цѣпь для подъема слѣдующаго. Ниже будетъ сказано о пользѣ и неудобствахъ соединенныхъ вообще съ употребленіемъ цѣпей.

Всякій разъ послѣ того, какъ затворъ будетъ поднятъ, необходимо убѣдиться, правильно ли сѣлъ подкосъ на упорную подушку, для чего также служитъ заостренный шестъ. При наличности рейки съ заплечиками провѣрка правильности положенія подкоса является лишней.

Описанные приемы подыманія и укладки затворовъ относятся въ равной степени какъ къ затворамъ на судоходныхъ отверстіяхъ, такъ и на водоспускныхъ, — съ той лишь разницей, что въ случаѣ водоспускныхъ отверстій, имѣющихъ обыкновенно возвышенный флютбетъ (на 0,50 м. надъ меженью) признано возможнымъ обходиться безъ рейки съ заплечиками: кладка совершается здѣсь при посредствѣ простаго багра, которымъ отталкиваются подкосы съ упорныхъ подушекъ (объ этомъ подробнѣе ниже). Однако при высокой водѣ — это не вполне удобно и казалось бы что примѣненіе рейки и для водоспускныхъ затворовъ было бы цѣлесообразнѣе.

Послѣ этого общаго описанія управленія затворами плотины Шаноана, приступимъ теперь къ выясненію дѣйствія плотины, оба отверстія которой судоходной и водоспускное снабжены затворами разсматриваемой системы.

**Порядокъ закрытія плотины.** Предположимъ, что оба отверстія плотины открыты, и что все затворы покоятся на флютбетѣ. Предположимъ также, что служебнаго мостика не имѣется и что все манипуляціи должны совершаться съ приспособленной для сего завозни.

Въ такихъ именно условіяхъ работали плотины на верхней Сенѣ и Йоннѣ до 1869 года, т. е. до устройства служебныхъ мостиковъ, нѣсколько упразднившихъ и измѣнившихъ существовавшіе до того приемы управленія плотинами.

Начинаютъ съ подъема затворовъ водоспускнаго отверстія; завозня устанавливается у



боковой стѣнки устоя выше плотины, приподнимаетъ первый отъ устоя затворъ и приводитъ его щитъ въ стоячее положеніе; затѣмъ она передвигается впередъ на ширину щита и производитъ ту же операцію со вторыми затворами и т. д., причемъ мѣстомъ опоры завозни вмѣсто стѣны устоя служатъ уже приподнятые его щиты.

Но при этомъ, какъ только корма завозни сравняется съ установленнымъ уже затворомъ, щитъ этого затвора приводятъ къ горизонтальному положенію, освобождая запертую было часть отверстія плотины.

Такимъ образомъ съ каждымъ передвиженіемъ завозни впередъ одинъ затворъ вполне устанавливается и на одномъ щитѣ затворъ приводится къ горизонтальному положенію—открывается.

Но для того, чтобы такой порядокъ дѣйствія могъ быть соблюдаемъ, необходимо, чтобы завозня могла упираться въ установленные ею щиты обязательно ниже ихъ осей вращения, т. е. въ хвостъ щитовъ. Оси эти на Верхней Сенѣ расположены на 1 м. 11 см. надъ меженью, что болѣе или менѣе соответствуетъ такому стоянію горизонта въ рѣкѣ, при которомъ уже требуется установка разборчатыхъ частей плотины. При болѣе низкомъ или болѣе высокомъ состояніи горизонта описанный пріемъ запиранія не можетъ быть примѣненъ, и это обстоятельство было одной изъ причинъ, которыми мотивировались необходимость введенія служебныхъ мостиковъ взамѣнъ завозни.

Продолжаемъ прерванное: когда завозня доберется до быка, все затворы будутъ приподняты и щиты ихъ будутъ свободно колебаться на своихъ осяхъ, не стѣняя прохода воды черезъ отверстіе, что могло бы, конечно, затруднять работу при запираніи судоходнаго отверстія.

Щиты водоспускнаго отверстія сохраняютъ положеніе близкое къ горизонтальному, благодаря передвижнымъ грузамъ, которые устанавливаются на „головѣ“, и всеъ которыхъ такъ рассчитанъ, чтобы уклонъ щита соответствовалъ углу, какой допускаютъ вышеупомянутые стопора на подшипникахъ осей вращения. Величинѣ же этого угла придано значеніе  $15^\circ$ , при такомъ углѣ подвижной грузъ можетъ самъ собою скользить по своей направляющей и положеніе щита не слишкомъ уклоняется отъ горизонтальнаго (Табл. 9, фиг. 90).

При наличности служебнаго мостика ходъ работъ по подъему затворовъ совершается слѣдующимъ образомъ:

Каждый щитъ снабженъ двумя цѣпами (отъ верха крыла и отъ низа хвоста) зачлененными къ фермѣ мостика. При правильно выбранномъ разстояніи между мостикомъ и затворами, не трудно, потянувъ за цѣпь, идущую отъ хвоста, приподнять затворъ. Затѣмъ обѣ цѣпи опять зачаливаютъ за ферму такимъ образомъ, чтобы щитъ оставался въ положеніи близкомъ къ горизонтальному, передвижные грузы являются лишними. Служебные мостики на Сенскихъ плотинахъ расположены черезъ - чуръ близко къ линіи затворовъ, вслѣдствіе чего къ концу подъема затворовъ приходится немного выбирать верхнюю цѣпь, для чего на подъемной лебедкѣ имѣется особое приспособленіе.

Послѣ исполненія работъ по подъему затворовъ съ завозни на водоспускномъ отверстіи, какъ онѣ описаны выше, приступаютъ къ подъему затворовъ судоходнаго отверстія, сохраняя тотъ же порядокъ дѣйствій, съ той только разницей, что на разъ приподнятомъ и надлежащимъ образомъ установленномъ затворѣ положеніе щита не измѣняютъ, оставляя его въ стоячемъ положеніи (Табл. 10, фиг. 113, 110, 107.), такъ что судоходное отверстіе будетъ вполне закрыто послѣ того, какъ завозня окончитъ подъемъ послѣдняго затвора.

Если водоспускное отверстіе имѣетъ достаточную длину и въ состояніи пропустить весь расходъ рѣки и если флютбетъ этого отверстія не слишкомъ возвышенъ, то подъемъ даже послѣднихъ затворовъ на судоходномъ отверстіи не представляетъ особыхъ затрудненій и перепадъ не достигаетъ значительнаго размѣра.

Исполнивъ эту работу, завозня возвращается обратно къ водоспускному отверстію и рабочіе приступаютъ къ приведенію щитовъ его въ стоячее положеніе.

Въ случаѣ служебнаго мостика вся работа ограничивается тѣмъ, что хвостовыя цѣпи отдаются, а верхнія немного выбираютъ.

При отсутствіи мостика рабочій взбирается на устой, откуда при помощи шеста нажимаетъ хвостъ перваго отъ устоя щита. Подвижный грузъ такъ рассчитанъ, что всеъ головы и этого груза только немногимъ превышаетъ всеъ хвоста, вслѣдствіе чего достаточно не осо-



бенно сильно нажать на хвостъ щита, чтобы погрузить его въ воду, послѣ чего щитъ подъ дѣйствіемъ теченія приходитъ въ стоячее положеніе, а подвижный грузъ опускается внизъ къ основанію хвоста.

Положеніе щита является сразу устойчивымъ, такъ какъ хвостъ его сильно прижимается къ порогу плотины, какъ отъ дѣйствія перепада, образовавшагося вслѣдствіе закрытія судоходнаго отверстія, такъ и отъ дѣйствія подвижного груза, расположеннаго (въ планѣ), выше (по теченію) оси вращенія щита. Это даетъ возможность рабочему перейти съ устоя на щитъ, пользуясь или направляющими подвижного груза или нарочно для этого придѣланными къ щиту консольками. Придерживаясь за верхнее ребро головы, рабочій ногою нажимаетъ на хвостъ слѣдующаго щита, приводя и этотъ щитъ въ стоячее положеніе и т. д. до послѣдняго щита отверстія.

Время, потребное для такого подъема, какъ описанныхъ затворовъ водоспускнаго отверстія длиною 70 метровъ, не болѣе полутора часа; на закрытіе же судоходнаго отверстія длиною 50 метровъ требуется приблизительно столько же. Наконецъ, для приведенія щитовъ водоспускнаго отверстія въ стоячее положеніе требуется всего 4 или 5 минутъ.

Нѣкоторыя замѣчанія относительно описанныхъ пріемовъ запиранія отверстій плотины. Описанный способъ приведенія щитовъ въ стоячее положеніе простымъ нажиманіемъ ноги не можетъ быть примѣненъ для щитовъ судоходнаго отверстія, такъ какъ они даже при поднятой рамѣ все же находятся еще подъ водою. Такъ, напримѣръ, на Сенскихъ плотинахъ (Табл. 11, фиг. 132, 131) голова рамы на судоходномъ отверстіи возвышается надъ меженью на 0,45 м.; плотина же должна закрываться когда горизонтъ рѣки становится ниже 1,00 м. надъ меженью, т. е. когда голова рамы находится на 0,55 м. подъ водою. На водоспускномъ же отверстіи напротивъ, голова рамы возвышается надъ меженью на 1,11 м. (Табл. 9, фиг. 89, 90); прибавляя къ этому толщину полотна и дугу описываемую хвостомъ щита, увидимъ, что хвостъ щита всегда выступаетъ изъ воды. Но когда приходится закрывать это отверстіе при болѣе высокомъ (напр. 1,10 м. надъ меженью) стояніи горизонта воды, то нажиманіе ногой становится тогда и здѣсь невозможнымъ. Это еще одна изъ причинъ на основаніи которыхъ слѣдуетъ признать пользу служебныхъ мостиковъ.

Подъемъ затвора судоходнаго отверстія съ приведеніемъ щитовъ къ горизонтальному положенію. Невозможность приведенія щитовъ судоходнаго отверстія въ стоячее положеніе обыкновеннымъ способомъ приводитъ къ необходимости устройства служебнаго мостика и въ случаѣ судоходнаго отверстія плотины. Такъ это сдѣлано въ Port à l'Anglais (Табл. 8, фиг. 72). При мостикѣ можно оставлять щиты судоходнаго отверстія, такъ же какъ и щиты водоспускнаго отверстія, и производить затѣмъ ихъ окончательную установку по какому угодно способу.

Однако, не слѣдуетъ упускать изъ виду, что слишкомъ продолжительное оставленіе щитовъ судоходнаго отверстія на вѣсу не всегда проходитъ безнаказанно вотъ почему. Флютбетъ этого отверстія располагается обыкновенно на уровнѣ дна рѣки; несомыя рѣкой тѣла: карчи, камни и проч. могутъ застрять между ногами рамъ и подкосовъ, и воспрепятствовать правильной установкѣ щитовъ. Кромѣ того, нѣкоторая игра оси вращенія щита въ подшипникахъ въ связи съ силой теченія воды приводятъ щитъ въ сильное дрожаніе, которое можетъ разстроить скрѣпленія составныхъ частей щита, особенно въ случаѣ щитовъ болѣе значительныхъ размѣровъ. Практика, впрочемъ, не подтвердила этихъ опасеній. Это не можетъ относиться къ водоспускнымъ отверстіямъ, располагаемымъ обыкновенно на возвышенныхъ флютбетахъ (1,10 м. надъ дномъ рѣки) и оборудованныхъ щитами меньшихъ размѣровъ.

Оставленіе щитовъ на вѣсу въ водоспускныхъ отверстіяхъ предотвращаетъ образованіе сильныхъ перепадовъ,—слѣдовательно, облегчаетъ, какъ уже сказано, установку послѣднихъ щитовъ судоходнаго отверстія, особенно когда водоспускное отверстіе не достаточно длинно.

**Щитовыя цѣпи.** Выше было сказано, что для подъема, щитовъ съ заводи служитъ багоръ, которымъ захватываютъ за дугу, имѣющуюся у основанія хвоста щита. Пріемъ этотъ годится при незначительномъ перепадѣ, но когда перепадъ достигаетъ 0,60 м. — 0,70 м. погруженіе багра въ воду вещь не легкая, даже и тогда, когда къ нему привѣшенъ грузъ.

Вслѣдствіе этого прибѣгли къ подъемнымъ цѣпямъ, примѣняя ихъ къ тѣмъ щитамъ, ко-



которые д. быть подняты послѣдними, т. е. тамъ гдѣ перепадъ особенно мѣшаетъ работѣ, достигая своего maximum'a.

Одинъ конецъ цѣпи прикрѣпленъ къ головѣ одного щита, а другой къ хвосту слѣдующаго. Такимъ образомъ, снявъ цѣпь съ щита, уже установленнаго, легко при помощи лебедки приступить къ подыманію щита лежачаго, и по завершеніи подъема закрѣпить конецъ цѣпи на свое мѣсто (Табл. 10, фиг. 110, 107).

Этотъ опытъ оказался настолько практичнымъ въ смыслѣ легкости и быстроты работы, что употребленіе цѣпей распространили на всѣ щиты судоходнаго отверстія. Но тогда пришлось считаться и съ неудобствомъ этого способа. А именно были случаи, что эти цѣпи захватывались заплечиками рейки или попадали подъ самую рейку и даже подъ укладываемые на флютбетъ щиты; наконецъ, онѣ зацѣплялись проходящими плотами и судами. Такимъ образомъ, пришлось опять съузнить распространеніе цѣпей, ограничивъ его только послѣдними щитами и только тѣми плотинами, на которыхъ при установкѣ послѣднихъ образовывался перепадъ болѣе 0,60 м.

При наличности служебнаго мостика, каждый щитъ снабженъ лишь *одной* цѣпью, идущей отъ его хвоста; причемъ длинѣ цѣпи придаютъ такую величину, чтобы она не могла попасть подъ укладываемый щитъ. Прочность цѣпей рассчитывается по силѣ тяги, о чемъ будетъ сказано ниже. При этомъ ни въ завоznѣ, ни въ багрѣ надобности больше нѣтъ.

**Необходимость служебнаго мостика.** Изъ сказаннаго видно, насколько устройство мостика облегчаетъ и ускоряетъ управленіе затворами. Но главное удобство мостика, которое и заставило лицъ, причастныхъ къ дѣлу прибѣгнуть къ нему, заключается въ томъ, чтобы всегда возможно было регулировать высоту напора.

Въ виду этого *de Lagréné* категорически настаиваетъ на примѣненіи служебныхъ мостиковъ при *водоспускныхъ* отверстіяхъ. Объ этомъ болѣе подробно будетъ сказано ниже.

**Понтоны и подвижный мостикъ на служебной завоznѣ.** Настоятельной необходимости въ служебномъ мостикѣ для *судоходныхъ* отверстій пожалуй и нѣтъ, а потому полезно остановиться на тѣхъ приемахъ и приспособленіяхъ, которыми сопровождается управленіе затворами при употребленіи для этого служебной завоzni.

Мы уже сказали, что головы рамъ на судоходныхъ отверстіяхъ Сенскихъ плотинъ возвышаются надъ меженью на 0,45 м. и что плотины запираются при горизонтѣ 1,00 м. надъ меженью. Очевидно, что при этихъ данныхъ борта завоzni, занятой подъемомъ затворовъ, могутъ упираться въ щиты выше ихъ осей вращенія, причемъ щиты, служащіе опорой могутъ повернуться, а завоznя можетъ опрокинуться. Для предотвращения подобныхъ случайностей служатъ два большихъ понтона съ осадкою 1,30 м., причаливаемыхъ къ борту завоzni и передающихъ давленіе завоzni на хвосты стоячихъ щитовъ. Эти понтоны прикрѣплены къ желѣзнымъ рамамъ, поддерживающимъ досчатый настилъ (Табл. 10, фиг. 113, 112).

Въ случаѣ работы при низкомъ горизонтѣ понтоны должны быть или короче или они должны быть убираемы въ сторону.

Завоznя не должна примыкать бортами своими къ щитамъ, иначе ее задѣнетъ хвостъ подымаемаго ею щита въ тотъ моментъ, когда рама приходитъ въ вертикальное положеніе, а щитъ находится еще на вѣсу. Кромѣ того, извѣстное разстояніе между завоznей и щитами необходимо также и для уменьшенія силы тяги. Въ самомъ дѣлѣ, ясно, что подъемная цѣпь, идущая отъ хвоста щита къ завоznѣ, должна имѣть нѣкоторый уклонъ; вертикальное ея положеніе возможно лишь при самомъ началѣ подъема, когда щитъ отходитъ отъ поверхности флютбета, дальнѣйшій ходъ подъема при томъ же положеніи цѣпи становится невозможнымъ. При завершеніи же подъема горизонтальное направленіе цѣпи самое удобное. Въ виду этого углу уклона цѣпи, при среднемъ ея положеніи придаютъ значеніе въ 45°. Другими словами, щитъ, ведущій цѣпь, долженъ занимать такое положеніе, чтобы подъемная цѣпь отъ него къ хвосту щита шла подъ угломъ въ 45°. Для достиженія этого къ борту завоzni подвѣшиваютъ горизонтальный помостъ, ширина котораго такъ рассчитана, что когда помостъ прилегаетъ къ установленнымъ уже щитамъ, ведущій шкивъ становится въ надлежащее положеніе. По этому помосту могутъ двигаться и рабочіе (Табл. 10, фиг. 113, 112).

Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что ширина помоста должна мѣняться вмѣстѣ съ уровнемъ го-



ризонта верхняго бьефа. Обыкновенно довольствуются двумя помостами — однимъ узкимъ для самаго низкаго и другимъ широкимъ для высокаго стоянія горизонта. Помость поддерживается желѣзной рамой, поддерживаемою кронштейнами, которые могутъ укладываться вдоль борта завозни или, убираться. Само собою разумѣется, что рама должна быть устроена прочно и солидно, прикрѣплена къ бортамъ завозни. Установка затворовъ на верхней Сенѣ начинается при горизонтѣ на 1 м. выше межени, ширина помоста должна быть при этомъ рассчитана на горизонтъ 1,40 м. надъ меженю, такъ какъ при подъемѣ послѣднихъ затворовъ горизонтъ воды успѣетъ подняться примѣрно до этой высоты. При исключительныхъ обстоятельствахъ, когда подъемъ затворовъ долженъ совершаться при высокомъ стояніи воды, напр., на 1,20 м. выше межени (какъ это и было въ Ablon'ѣ 17 декабря 1864 года) направленіе подъемной цѣпи становится близкимъ къ вертикали, и работа можетъ быть затруднена до невозможности и, собственно говоря, не изъ за чрезмѣрнаго возрастанія силы тяги, а изъ за нѣкоторыхъ особенностей въ конструкціи самаго затвора. Объ этомъ сказано будетъ ниже въ главѣ о размѣрѣ силы тяги.

При служебномъ мостикѣ этого быть не можетъ, такъ какъ положеніе подъемной лебедки не зависитъ отъ высоты горизонта воды. Это обстоятельство говоритъ также въ пользу служебнаго мостика.

Разстояніе между мостиками и щитами рассчитывается такимъ образомъ, чтобы подъемная цѣпь имѣла уклонъ въ  $45^{\circ}$ . Чѣмъ выше мостикъ, тѣмъ больше должно быть это разстояніе.

**Лебедна съ двойной передачей.** Гдѣ бы ни была помѣщена лебедка—на завознѣ-ли, или на мостикѣ—весьма полезно, чтобы она могла работать одиночной или двойной передачей, смотря по надобности: при подъемѣ первыхъ требуется меньше силы и въ виду успѣшности работы слѣдуетъ работать одиночной передачей, на послѣднихъ щитахъ нужна большая сила и стало быть болѣе удобной является двойная передача.

**Ходъ работъ при укладкѣ затворовъ.** Водоспускныя отверстія всѣхъ Сенскихъ плотинъ, за исключеніемъ Conflans'кой снабжены служебными мостиками, которые, какъ кажется, получили уже всеобщее право гражданства. Поэтому разсмотримъ здѣсь ходъ работъ, предполагая наличность служебнаго мостика.

Открытіе отверстій происходитъ при высокомъ горизонтѣ воды, когда на фарватерѣ имѣется глубина достаточная для прохода судовъ. Впрочемъ, открываются отверстія и для пропусковъ, безъ которыхъ иногда и нельзя обойтись, но прибѣгать къ которымъ можно лишь въ крайнихъ случаяхъ.

И такъ разсмотримъ первый случай.

Когда наступитъ моментъ открытія отверстій плотины, щиты водоспускнаго отверстія находятся уже давно на вѣсу, остается значить пустить въ дѣло рейку съ заплечиками, что бы опустить затворы судоходнаго отверстія. При непродолжительномъ паводкѣ щиты водоспускнаго отверстія оставляются на вѣсу и подъемныя ихъ цѣпи закрѣпляются надлежащимъ образомъ къ фермамъ мостика. Если же открытіе отверстія вызвано приближеніемъ періода высокихъ водъ или началомъ ледохода, необходимо произвести укладку фермъ мостика. Къ этому мы еще разъ вернемся, когда будемъ говорить объ упраздненіи рейки съ заплечиками.

Когда вслѣдствіе внезапнаго паводка требуется сразу открыть отверстія плотины, не трогая щитовъ водоспускнаго отверстія, изъ которыхъ одни при подходѣ вала еще стоятъ, а другія уже на вѣсу, начинаютъ съ опусканія щитовъ судоходнаго отверстія. По проходѣ же вала приводятъ въ навѣсъ все щиты водоспускнаго отверстія и приступаютъ къ поднятію щитовъ судоходнаго отверстія.

Если открытіе отверстія потребуется для пропуска и если при этомъ являются опасенія за сохранность какихъ-либо сооружений, то сначала приводятъ къ навѣсу только часть щитовъ водоспускнаго отверстія, чтобы сравнять нѣсколько горизонтъ обоихъ бьефовъ, а затѣмъ открываютъ описаннымъ порядкомъ судоходное отверстіе.

Необходимо замѣтить, что медленное или постепенное открытіе отверстій можетъ имѣть болѣе вредныя послѣдствія нежели быстрое; въ послѣднемъ случаѣ перепадъ исчезаетъ въ



нѣсколько минутъ, уступая мѣсто сильному теченію, котораго нечего опасаться. По съ другой стороны быстрое открытіе отражается въ сильной степени на состояніи нижняго бьефа какъ въ отношеніи судоходства, такъ и нижней плотины. Поэтому всегда нужно взвѣсить послѣдствія того и другого и лучше всего придерживаться середины—открывать отверстія не очень быстро и не черезъ-чуръ медленно.

**Рейка съ заплечиками.** Одно изъ самыхъ важныхъ приспособленій для опусканія затворовъ—это рейка съ заплечиками. Не лишне поэтому подвергнуть ее болѣе подробному разсмотрѣнію.

Рейка съ заплечиками представляетъ собою, какъ уже сказано, желѣзную полосу, снабженную выступами въ количествѣ равномъ числу подкосовъ.

Когда длина судоходнаго отверстія превосходитъ 25 или 30 метровъ, рейку (по длинѣ ся) дѣлятъ пополамъ. Движеніе каждой половины совершается въ противоположномъ направленіи при посредствѣ двухъ лебедокъ, изъ которыхъ одна помѣщается въ устоѣ, а другая въ быкѣ судоходнаго отверстія.

Рейки Сенскихъ плотинъ (Табл. 9, фиг. 78, 79; Табл. 10, фиг. 110; Табл. 11, фиг. 132, 133) имѣютъ прямоугольное сѣченіе  $0,08 \times 0,03$  м.; съ верховой стороны она скошена почти параллельно направлению полкоса, дабы имѣть возможность помѣстить ее какъ можно ближе къ послѣднему. На нижней поверхности рейки имѣются выступы или прямоугольнаго сѣченія ( $0,06 \times 0,03$  м.) шипы, скользящіе между двумя полосами круглаго желѣза. Этотъ шипъ въ нижней своей части имѣетъ сквозное отверстіе для помѣщенія рейки, которая должна препятствовать тому, чтобы рейка не могла подняться вверхъ. Едва-ли, впрочемъ, на дѣлѣ прибѣгаютъ къ употребленію этой чеки, такъ какъ собственный вѣсъ рейки удерживаетъ ее въ надлежащемъ положеніи. Для той же цѣли служатъ тоже особые штыри, вставленные въ деревянный брусъ флют-бета, съ загнутыми подъ прямымъ угломъ надъ рейкой концами.

Было бы полезно, чтобы рейка составлялась изъ отдѣльныхъ частей, которыя могли бы разбираться даже подъ водою при помощи водолаза. Но при этомъ нужно имѣть въ виду, чтобы соединеніе отдѣльныхъ частей было вполне солидно и представляло достаточное сопротивление толчкамъ, которымъ подвергается рейка.

Двѣ рейки, обслуживающія одно отверстіе, бывають обыкновенно неравной длины. Каждая изъ нихъ опускаетъ ближайшіе затворы по одному за-разъ.

Затворы, которые опускаются прежде другихъ, требуютъ приложенія большаго усилія, такъ какъ опусканіе ихъ происходитъ при большой разности горизонтовъ. По мѣрѣ же увеличенія числа опущенныхъ затворовъ эта разность уменьшается, а вмѣстѣ съ нею уменьшается и усиліе, передвигающее рейку; тогда является возможность дѣйствовать сразу на два затвора, потомъ на три и даже на четыре, безъ увеличенія потребнаго на это усиліе.

**Направляющія рейки на Сенскихъ плотинахъ.** Направляющія рейки состоятъ изъ двухъ горизонтальныхъ и параллельныхъ полосъ круглаго желѣза діаметромъ 0,04 м. и длиною 1,50 м. (Табл. 9, фиг. 78, 79; Табл. 11, фиг. 130).

Полосы эти укрѣплены на деревянномъ брусѣ, служащемъ основаніемъ для помѣщенія всѣхъ составныхъ частей рейки.

Для укрѣпленія служатъ планки, привинченныя къ означенному брусу. Разстояніе между направляющей и брусомъ достаточно для того, чтобы между ними проходилъ несомый водою песокъ и гравій; болѣе же крупныя частицы могутъ быть извлечены при помощи шеста съ крюкомъ.

Упомянутый выше шипъ, удерживающій рейку между ея направляющими, возвышается надъ брусомъ на одинъ сантиметръ. Длина направляющихъ нѣсколько превосходитъ максимальный ходъ рейки, вслѣдствіе чего шипъ всегда остается между направляющими.

Назначеніе направляющихъ только удерживать рейку въ должномъ положеніи, но не нести на себѣ ея тяжесть, поэтому между рейкой и полосами круглаго желѣза сохраненъ зазоръ около пяти миллиметровъ.

Разстояніе между каждой парой направляющихъ—четыре метра.



**Натки рейни.** Рейка положена на бронзовые катки, установленные на разстояніи 2,60 м. другъ отъ друга, т. е. на разстояніи равномъ ширинѣ двухъ щитовъ плюсъ одного промежутка между ними (Табл. 9, фиг. 79, 83 и Табл. 11, фиг. 130).

Каждая пара направляющихъ рейки имѣетъ у своего начала одну пару катковъ, возвышающихся надъ направляющими на 0,005 м. Катокъ представляетъ собою цилиндръ діаметромъ 0,05 м. и длин. 0,10 м., съ осью, входящею въ чугунные вкладыши, привинченные къ упоминаемому выше деревянному брусу.

**Зубчатна.** Рейка входитъ въ кладку устоя на длину 2,70 м., для чего въ устоѣ имѣется отверстіе длин. 0,70 м. и колодезь для лебедки 2 м. (Табл. 11, фиг. 138, 136, 137, 134, 135, 140, 142, 139 и 141; Табл. 10, фиг. 110).

Высота этого отверстія 0,20 м.; ширина его 0,30 м. оно запирается желѣзными дверцами. Непосредственно за дверцами имѣется вертикальный катокъ, направляющій рейку къ шестернѣ вала лебедки. Къ конечной части рейки, къ верхней ея поверхности привинчивается другая рейка длиною 1,40 м. снабженная зубцами, а къ нижней планка прямоугольнаго сѣченія такой же длины, какъ и зубчатка. Зубчатка эта сцѣпляется съ нижней шестерней вертикальнаго вала лебедки, а планка скользитъ между чугунными направляющими, отлитыми вмѣстѣ съ пятникомъ вала.

Зубчатка нажимается къ шестернѣ посредствомъ трехъ вертикальныхъ бронзовыхъ каточковъ, изъ которыхъ два находятся на самой подставкѣ подпятника вала, а третій на разстояніи 0,50 м. отъ оконечности рейки. Наконецъ двѣ поперечныя планки (у двухъ нажимающихъ рейку катковъ), препятствующихъ рейкѣ приподыматься вверхъ. Проектировавшій этотъ механизмъ не счелъ необходимымъ поддержать оконечность рейки горизонтальнымъ каткомъ, ограничившись для этой цѣли устройствомъ широкой реборды на третьемъ вертикальномъ каткѣ, прижимающемъ рейку къ шестернѣ.

**Колодезь для лебедки.** Размѣръ колодца: 2,00 м. длиной, 0,8 м. ширины, въ него ведетъ желѣзная лѣстница. Очень важно было предохранить колодезь отъ наносовъ, нужно было, кромѣ того, имѣть возможность выкачать изъ него воду до суха для осмотра его и производства требуемыхъ исправленій. Въ виду этого входъ въ упомянутое выше отверстіе въ устоѣ запырался желѣзными дверцами, въ которыхъ сдѣлана прорѣзь, какъ разъ соответствующая размѣрамъ поперечнаго сѣченія рейки шестерня вертикальнаго вала устанавливается на площадкѣ, вдоль которой дѣлается углубленіе для стока воды. Однако, эти предосторожности оказались недостаточными, вслѣдствіе чего необходимо отъ времени до времени производить осмотръ и очистку колодца, особенно, если приходится работать лебедкой послѣ продолжительнаго бездѣйствія его.

*De Lagréné* совѣтуетъ устраивать водопроводную трубу, соединенную съ верхнимъ бьефомъ; это дало бы возможность удалить изъ колодца наносы силою водяной струи и упразднить желѣзныя дверцы.

**Лебедна.** Весь механизмъ лебедки помѣщается немного ниже верха устоя. Сдѣлано это для того, чтобы облегчить осмотръ и наблюденіе за дѣйствіемъ механизма, но при этомъ длина вала вышла весьма значительной; она равна разности между высотой флютбета судходнаго отверстія и верха устоя. Если эта разница, а слѣдовательно и длина вала чрезвычайно велика, валъ пружинитъ и производитъ отдачу, вліяющую вредно на все остальные части механизма лебедки. Во избѣжаніе этого въ Port à l'Anglais примѣнили валъ полаго сѣченія, который при одинаковомъ вѣсѣ съ валомъ сплошнаго сѣченія лучше сопротивляется скручивающимъ усиліямъ и не подвергаетъ механизмъ вреднымъ толчкамъ. Длина этого вала 5,85 м., наружный діаметръ его 0,05 м., толщина стѣнокъ 0,01 м. Ниже будетъ приведенъ расчетъ такого вала.

*De Lagréné* полагаетъ, что было бы гораздо лучше, если бы верхнее зацѣпленіе лебедки было помѣщено на 1 или на 1,50 метра ниже. Для приведенія лебедки въ дѣйствіе можно бы было спускаться къ ней по лѣстницѣ. Это позволило бы уменьшить длину вертикальнаго вала.

**Заплечики.** Заплечики рейки Сенскихъ плотинъ выступаютъ отъ края ея на 0,10 м.; толщина ихъ 0,03 м., ширина 0,06 м.; они приварены къ рейкѣ, сливаясь съ нею въ планъ по



кривой. При такой конструкции шпоры могут захватывать отъ 0,08 до 0,09 м. тѣла подкоса.

**Контръ-запечники.** На платинѣ въ Port à l'Anglais, кромѣ описанныхъ шпоръ, примѣнили еще контръ-шпоры, назначеніе которыхъ заперать собою гнѣзда упорныхъ подушекъ и препятствовать произвольному соскальзыванію съ нихъ подкосовъ, вслѣдствіе случайныхъ толчковъ или дрожанія щита, что на практикѣ неоднократно было наблюдаемо. Примѣненія контръ-запечниковъ дало очень хорошіе результаты (Табл. 7, фиг. 64, 67, 68, 69, 70).

Имѣется, впрочемъ, одно возраженіе противъ контръ-запечниковъ, а именно, инж. Буле полагаетъ, что контръ-запечники перемѣщаютъ центръ тяжести рейки, способствуя опрокидыванію ея въ низовой сторонѣ. Но вѣдь положеніе центра тяжести рейки зависитъ вполнѣ отъ вида ея сѣченія и мы можемъ всегда такъ устроиться, чтобы этотъ центръ тяжести не выходилъ ни изъ предѣловъ несущихъ рейку катковъ, или ея направляющихъ.

**Направляющія.** Рейка плотины въ Port à l'Anglais тяжелѣе Сенскихъ реекъ, вслѣдствіе чего для направляющихъ первой взято угловое желѣзо вмѣсто прутowego (Табл. 7, фиг. 64, 67, 68, 69 и 70).

**Рейки на Саонскихъ плотинахъ** устроены изъ U образнаго желѣза, усиленнаго двумя уголками, которые вмѣстѣ съ тѣмъ играютъ роль направляющихъ (Табл. 7, фиг. 49 и 55). Такое сѣченіе представляетъ больше жесткости. Запечники и контръ-запечники прикрѣплены къ рейкѣ посредствомъ болтовъ, что допускаетъ возможность перестановки этихъ частей въ случаѣ надобности измѣненія порядка опусканія затворовъ. Рейка возвышается надъ флютбетомъ на 0,18 м. для болѣе свободнаго прохода наносовъ; на каждыхъ 2,34 м. длины рейки имѣются бронзовые катки, верхняя обойма которыхъ снабжена приливами, направляющими движеніе рейки.

**Вѣсъ рейки.** На первый взглядъ можетъ показаться, что вышеприведенные размѣры рейки слишкомъ велики сравнительно съ дѣйствующими на рейку усилями; но нельзя упускать изъ виду, что рейка должна обладать большою жесткостью: она не должна ни гнуться, ни скручиваться, въ какомъ бы направленіи она ни работала. Равнымъ образомъ, она должна быть достаточно массивной, чтобы противостоятъ дѣйствию теченія и толчкамъ отъ плавающихъ въ водѣ тѣлъ. Поэтому отнюдь не слѣдуетъ стремиться къ уменьшенію ея вѣса.

Новое судоходное отверстіе въ Port à l'Anglais длиною 28,70 м. обслуживается двумя рейками, общій вѣсъ которыхъ, не считая опорныхъ частей, 1273 клгр., т. е. 41 клгр. на погонный метръ рейки.

**Помѣщеніе рейки подъ уложенными на флютбетъ затворами.** Рейка должна имѣть возможность передвигаться и въ то время, когда затворы лежатъ на флютбетѣ, для того, чтобы занять то положеніе, въ которомъ она находилась при стоячихъ затворахъ. При постройкѣ первыхъ Сенскихъ плотинъ мѣсто для помѣщенія рейки было получено соотвѣтственнымъ изгибомъ головы подкосовъ и эксцентрическимъ образованіемъ верхней оси рамы (Табл. 9, фиг. 78) Но такая конструкция рамъ и подкосовъ не отвѣчала роду дѣйствующихъ усилій. Поэтому въ Port à l'Anglais рамы и подкосы имѣютъ прямое образованіе и дѣйствующія усилія совпадаютъ съ направленіями осей этихъ частей затвора, а необходимое для помѣщенія рейки пространство образовано незначительнымъ углубленіемъ поверхности флютбета въ томъ мѣстѣ, гдѣ въ него задѣланъ деревянный брусъ, поддерживающій рейку и постановкой деревянныхъ подушекъ на флютбетъ или на низовой сторонѣ головы щита (Табл. 7, фиг. 49, 55 и 57). Подушки эти слегка скошены по направленію къ верховой сторонѣ съ той цѣлью, чтобы онѣ не могли задерживать наносовъ.

Лежачій щитъ покоится своими четырьмя углами во 1-хъ, на тесанномъ ряду камней, во 2-хъ, на деревянныхъ подушкахъ, задѣланныхъ въ кладку флютбета, причемъ хвостъ щита находится ниже порога на 0,05 м., а голова его—на 0,10 м., въ такомъ положеніи затворъ прекрасно защищаетъ отъ ударовъ плавающихъ или влекомыхъ по дну рѣки тѣлъ.

При опредѣленіи высоты пространства, предназначаемаго для помѣщенія рейки, необходимо принимать въ расчетъ, что щитъ можетъ дать извѣстный прогибъ, находясь подъ сильнымъ давленіемъ падающей струи воды. Если прогнувшись, щитъ нажметъ рейку, даль-



нѣйшая работа его приостановится вслѣдствіе чего можетъ произойти нежелательная задержка въ укладкѣ затворовъ на все время, пока не сравняются горизонты обоихъ бьефовъ, т. е. пока полотно щита не выпрямится. Поэтому полезно высоту помѣщенія рейки проектировать съ небольшимъ запасомъ. На практикѣ наблюдались случаи подобнаго защемленія рейки.

**Величина хода рейки.** Ходъ рейки долженъ быть короче разстоянія между двумя смежными подкосами. Теоретически говоря длина хода какого-нибудь заплечика должна равняться ширинѣ упорной подушки подкоса. Ширина эта на Сенѣ равна 0,12 м. Но для уменьшенія длины хода закругляютъ слегка выходное ребро упорной подушки, такъ что полезная длина хода шпоры уменьшается до 0,08 м.

Для примѣра предположимъ, что длина судоходнаго отверстія равна 54,70 м. и что на этомъ отверстіи имѣется 42 щита, подкосы которыхъ расположены на разстояніи 1,30 м. одинъ отъ другого, при чемъ свѣтовое разстояніе 1,21 м. Требуется спроектировать такія рейки со шпорами, которыя исполняли бы свое назначеніе при длинѣ хода меньшей 1,21 м.

Зададимся двумя рейками: пусть одна изъ нихъ обслуживаетъ 22 щита, другая 20.

Пусть меньшая рейка въ началѣ своего движенія уложитъ поочередно 7 щитовъ; для этого ей потребуется передвинуться на  $7 \times 0,08$  . . . . . 0,56 м.

Затѣмъ пусть она уложитъ 4 щита, зацѣпляя заразъ по два; при этомъ она передвинется на  $\frac{4 \times 0,08}{2}$  . . . . . 0,16 м.

Затѣмъ пусть она уложитъ 9 остальныхъ по три заразъ и передвинется на  $\frac{9 \times 0,08}{3} =$  0,24  
0,96

Прибавляя къ этому на зазоръ между шпорой и первымъ подкосомъ и на излишекъ пути послѣ послѣднихъ подкосовъ . . . . . 0,14 м.  
увидимъ, что длинѣ хода меньшей рейки можно придать величину . . . . . 1,10 "

Поступая также съ большей рейкой, получимъ длину ея хода при укладкѣ:

щитовъ по одному $6 \times 0,08$ . . . . .	0,48 м.
4 щитовъ по два $\frac{4 \times 0,08}{2}$ . . . . .	0,16 м.
Двѣнадцать щитовъ по 3 . . . . . $\frac{12 \times 0,08}{3}$	0,32 м.
Полезная длина хода . . . . .	0,96 м.
Добавляя, какъ выше, къ этому . . . . .	0,14 м.
Итого полная длина хода рейки . . . . .	1,10 м.

**Разстояніе между двумя рейками на одномъ судоходномъ отверстіи.** Важно доказать, что придавъ разстоянію между оконечностями обѣихъ реекъ величину 1,21 м., равную разстоянію между подкосами, мы, устраняемъ возможность встрѣчи этихъ реекъ (Табл. 11, фиг. 132).

Каждая рейка можетъ начать сталкиваніе или съ ближайшихъ къ устою подкосовъ или съ наиболѣе удаленныхъ отъ устоя. Положимъ, что обѣ рейки начинаютъ сталкиваніе съ ближайшихъ къ устою подкосовъ; тогда каждый изъ двухъ крайнихъ заплечиковъ обѣихъ реекъ долженъ передвинуться далѣе своего послѣдняго подкоса на 1,01 м. Въ самомъ дѣлѣ:

Полезная длина хода по предыдущему . . . . .	0,96 м.
Ширина крайняго заплечика . . . . .	0,06 м.
Излишекъ пути какъ и выше . . . . .	0,07 м.
	<hr/> 1,09 м.
Изъ этого слѣдуетъ вычесть ширину одной упорной подушки 0,08 м.	
	<hr/> Остатокъ . . . 1,01 м.

Изъ этого видно, что одна рейка должна перекрыть другую по длинѣ 0,81 м., значить, первое рѣшеніе задачи не годится.



Если же предположимъ, что каждая рейка начинаетъ сталкиваніе съ наиболѣе удаленнаго подкоса и оканчивается ближайшимъ къ устою, то тогда окончность ея выступаетъ за свой наиболѣе удаленный подкосъ только на 0,13 м.

Въ самомъ дѣлѣ:

Зазоръ между послѣднимъ заплечикомъ и подкосомъ. . .	0,07 м.
Ширина послѣдняго заплечика. . . . .	0,06 „
Итого. . . . .	0,13 м.

Въ этомъ случаѣ промежутокъ между окончностями обѣихъ реекъ будетъ равенъ 0,95 м. Рѣшеніе возможное, но оно представляетъ то неудобство, что громадная масса воды хлынетъ сразу и разрушительная ея сила будетъ сосредоточена въ одномъ мѣстѣ у середины плотины. Хотя въ то же время устой не подвергается подмыву и сразу же открывается широкій проходъ для судовъ.

Если теперь допустимъ, что одна рейка начинаетъ съ укладки среднихъ затворовъ, а другая съ ближайшихъ—первая будетъ выступать далѣе своего полкоса на 0,13 м. а вторая 1,01, въ суммѣ обѣ онѣ займутъ пространство = 1,14 м.

Слѣдовательно, промежутокъ между окончностями реекъ будетъ равенъ  $1,21 - 1,14 = 0,07$  м. Рѣшеніе удовлетворительное.

Замѣтимъ, приведенныя исчисленія не стоятъ въ зависимости отъ ширины щита.

**Разстояніе между заплечиками** Назовемъ черезъ  $l$  ширину щита и одного промежутка, т. е. разстояніе между осями двухъ смежныхъ подкосовъ. Раземотримъ сначала рейку, начинающую укладку съ затвора ближайшаго къ устою. Заплечики, предназначенные для сталкиванія первыхъ подкосовъ по одному, должны отстоять одинъ отъ другого на 1,08 м., потому что каждый заплечикъ только тогда приходитъ въ соприкосновеніе со своимъ подкосомъ, когда предыдущій уже прошелъ упорную подушку своего подкоса; ширина же упорной подушки на Сенскихъ плотинахъ равна 0,08 м. Слѣдующая группа (по два заплечика) сталкивающая по два подкоса сразу, отстоитъ отъ сосѣднихъ группъ тоже на 1,08 метра, но разстояніе между заплечиками одной группы будетъ равно  $l$ . Слѣдующая затѣмъ группа заплечиковъ (по три заплечика въ серіи) отстоитъ также отъ сосѣднихъ группъ на 1,08 м., сохраняя въ своей группѣ между заплечиками разстояніе равное  $l$ .

Рейка же, начинающая сталкиваніе подкосовъ, находящихся на срединѣ отверстія имѣетъ заплечики съ разстояніями между отдѣльными серіями мѣсть  $l = 1,08$  м. и между заплечиками каждой серіи тоже  $= l$ .

Когда приходится сталкивать съ упорныхъ подушекъ сразу по нѣсколько подкосовъ, то требуемое для этого усиліе слишкомъ велико. Можно облегчить работу измѣняя нѣсколько разстояніе между заплечиками одной серіи съ такимъ расчетомъ, чтобы начало прикосновенія къ подкосу второго заплечика въ серіи начиналось лишь тогда, когда первый заплечикъ уже прошелъ часть ширины подушки своего подкоса. При этомъ условіи разстояніе между заплечиками той,

напримѣръ, серіи, которая сталкиваетъ по два подкоса заразъ, будетъ  $l + \frac{0,08}{2}$  для рейки сталкивающей подкосы, начиная отъ устоя второго, и  $l - \frac{0,08}{2}$  для рейки, начинающей сталкивать подкосы отъ середины отверстія. Для серіи заплечиковъ, сталкивающихъ заразъ по три подкоса эти разстоянія будутъ  $l + \frac{0,08}{3}$  и  $l + \frac{2 \times 0,08}{3}$  — для одной рейки и  $l - \frac{0,08}{3}$  и  $l - \frac{2 \times 0,08}{3}$  для другой рейки.

**Указатель положенія рейки.** Весьма важно, чтобы сторожъ могъ всегда опредѣлить точно, въ какомъ именно положеніи въ каждый данный моментъ находится рейка. Практика указываетъ случаи, когда сторожъ старался передвинуть рейку, достигшую уже своего крайняго положенія. Нетрудно придумать приборъ, приводимый въ движеніе самой рейкой, по которому можно было бы судить о положеніи, ею занимаемомъ.



Въ *Annales des Ponts et Chaussées* за 1868 годъ, во 2-мъ полугодіи, стр. 446 помѣщено описаніе трехъ такихъ приборовъ различной конструкціи. Одинъ изъ нихъ показанъ на фиг. 120, Табл. 10-й.

Начавъ съ описанія дѣйствія затвора системы Шаноана, мы затѣмъ разсмотрѣли дѣйствіе этихъ щитовъ, какъ разборчатой части плотины; теперь перейдемъ къ разбору отдѣльныхъ составныхъ частей самаго затвора. Это поможетъ намъ лучше уяснить характеръ дѣйствія затворовъ при естественномъ и искусственномъ измѣненіяхъ въ положеніи горизонтовъ воды въ раздѣляемыхъ плотиною бьефахъ.

**Уровень расположенія верхняго края щита судоходнаго отверстія.** Предполагается, что намъ уже извѣстно, какъ опредѣляется уровень напорнаго горизонта. Горизонтальная плоскость этого горизонта находится на такой высотѣ, при которой глубина воды на порогѣ шлюза равна напередъ заданной величинѣ. Очевидно, что верхній край щита долженъ, какъ разъ, находиться въ этой плоскости, ибо, если онъ будетъ выше ея, мы напрасно увеличимъ всѣ размѣры затвора, если напротивъ онъ будетъ ниже, мы, значитъ, предполагаемъ, что слой воды опредѣленной толщины все время переливается черезъ щиты. Правильнѣе было бы направить этотъ постоянный расходъ рѣки, если это возможно, черезъ водоспускное отверстіе, уменьшивъ до послѣдней степени силу теченія, направляющагося къ судоходному отверстію.

Всякое теченіе стѣняетъ свободу судоходства, особенно у входа или выхода изъ шлюзной камеры, которая по большей части располагается около судоходнаго отверстія плотины. Наконецъ, масса воды, переливающаяся черезъ разборчатую часть, это бесполезная потеря живой силы, которой слѣдовало бы воспользоваться.

Однако, нельзя уже очень и настаивать на такомъ точномъ совмѣщеніи верха щита съ упомянутой плоскостью подпорнаго горизонта.

Въ Port à l'Anglais верхъ щитовъ расположенъ ниже нормальнаго подпорнаго горизонта на 0,3 м. Предполагали, что при этомъ будетъ облегченъ проходъ небольшихъ наводковъ, а также, что размѣры составныхъ частей затвора нѣсколько уменьшаются и что, наконецъ, въ случаѣ надобности, можно всегда сдѣлать на верхнемъ ребрѣ щита набойки до уровня напорнаго горизонта.

**Уровень расположенія верхняго щита водоспускнаго отверстія.** Верхъ щитовъ на водоспускномъ отверстіи явно можетъ быть нѣсколько ниже нормальнаго подпора, если при этомъ будетъ выяснено, что черезъ промежутки между щитами не проходитъ минимальный расходъ рѣки. Однако, не надо забывать, что этотъ минимальный расходъ сильно уменьшается при накопленіи воды въ верхнемъ бьефѣ. Наконецъ, какое собственно говоря, неудобство представляетъ горизонтъ чуть-чуть возвышающійся надъ нормальнымъ подпорнымъ: отъ него всегда можно избавиться незначительнымъ увеличеніемъ уклона нѣкоторыхъ щитовъ на водоспускномъ отверстіи.

*Въ итогъ раціональнѣе всего высоту всѣхъ щитовъ доводить до подпорнаго горизонта, такъ какъ въ противномъ случаѣ вслѣдствіе различныхъ обстоятельствъ мы можемъ иногда не получить на порогѣ шлюза требуемой глубины.*

Однако, къ такому или иному рѣшенію можно придти лишь послѣ точнаго расчета расхода черезъ промежутки между щитами, сравнивъ затѣмъ этотъ расходъ съ минимальнымъ расходомъ рѣки, можно въ видѣ исключенія придать щитамъ нѣсколько уменьшенную высоту.

**Ширина промежутковъ между щитами.** Если бы два смежныхъ щита были установлены почти безъ промежутка между собою, то при малѣйшей неаккуратности подъема щитовъ или неправильности въ установкѣ управленіе этими щитами было бы невозможно.

Въ виду этого необходимо устанавливать щиты съ нѣкоторымъ просвѣтомъ съ такимъ расчетомъ, чтобы всѣ просвѣты вмѣстѣ взятые, могли пропустить почти весь меженный расходъ рѣки.

На Верхней Сентъ ширина просвѣта между щитами равна 0,10 м., на Юппѣ только 0,05 м.

Въ Conflans сначала просвѣтъ былъ въ 0,10 с., потомъ его уменьшили до 0,05 с. въ виду того, что первые пропускали расходъ больше меженного. Уменьшеніе просвѣтовъ достигли, наколотивъ по боковымъ поверхностямъ щитовъ планки толщ. 0,025 с.



Смотря по надобности, можно такимъ образомъ легко уменьшать ширину просвѣтовъ, а потому нечего опасаться, придавая имъ при постройкѣ платины болѣе значительные размѣры, т. е. даже болѣе 0,10 с., считаясь конечно съ режимомъ данной рѣки.

Выше мы вывели формулу расхода воды въ промежутокъ между двумя спицами, а именно.

$$q = 0,60 l \sqrt{2gH} \left( \frac{2}{3} H + h \right), \text{ гдѣ}$$

$l$  — ширина промежутка

$H$  — разность горизонтовъ

$h$  — высота горизонта нижняго бьефа надъ порогомъ.

Для случая, когда горизонтъ верхняго бьефа выше щитовъ и когда  $H$  заключаетъ въ себѣ и толщину  $u$  перливающегося слоя воды, формула расхода черезъ одинъ промежутокъ принимаетъ такой видъ:

$$q = 0,60 l \sqrt{rg} \left[ \frac{2}{3} H \sqrt{H} - \frac{2}{3} u \sqrt{u} + h \sqrt{H} \right]$$

Для примѣра возьмемъ данныя плотины въ Ablon на Верхней Сенѣ.

Предположимъ, что горизонтъ воды въ верхнемъ бьефѣ стоитъ на уровнѣ нормальнаго подпора, причемъ  $H = 1,85$  м.,  $u = 0$ ; возвышеніе подпорнаго горизонта надъ порогомъ 3,00 м.;  $h = 1,17$  — для судоходнаго отверстія и  $h = 0,05$  — для водоспускнаго.

Судоходное отверстіе имѣетъ 42 щита, водоспускное 50.

Расходъ воды черезъ просвѣты шириною 0,10 м. между щитами для судоходнаго отверстія будетъ  $q = 42 \times 0,60 \times 0,10 \sqrt{19,62 \times 1,85} \left( \frac{2}{3} \times 1,85 + 1,17 \right) = 37,26$  куб. м.; для водоспускнаго отверстія.

$$q = 51 \times 0,6 \times 0,10 \sqrt{19,62 \times 1,85} \left( \frac{2}{3} \times 1,85 + 0,05 \right) \times 23,58 \text{ куб. метровъ.}$$

Общій расходъ = 60,84 куб. м.

Между тѣмъ какъ расходъ рѣки въ Ablon'ѣ составляетъ только 40,00 куб. м.

Такимъ образомъ, нормальный подпоръ можетъ быть сохраненъ лишь при томъ условіи, что ширина просвѣтовъ между щитами будетъ уменьшена при помощи набойки боковыхъ планокъ, или что всѣ просвѣты или только нѣкоторые изъ нихъ будутъ закрываться особыми спицами или брусками. Последнія примыкаются къ просвѣтамъ съ верховой стороны. Операция эта не представляетъ никакого затрудненія, такъ какъ установка брусковъ въ судоходномъ отверстіи производится со служебной заводи, а водоспускномъ со служебнаго мостика. При этомъ надо имѣть въ виду, что прикрытіе просвѣтовъ слѣдуетъ производить главнымъ образомъ, на судоходномъ отверстіи, такъ какъ расходъ на последнемъ много больше, чѣмъ на водоспускномъ, кромѣ того щиты водоспускнаго отверстія могутъ приходить въ навѣсъ, причемъ планки будутъ унесены теченіемъ.

Во всякомъ случаѣ расчетъ подтверждается практическими данными и мы можемъ смѣло ширину промежутковъ между щитами дѣлать равной 0,10—0,12 м., не забывая, что въ нашей власти не только уменьшить, но довести почти до нуля расходъ воды черезъ эти просвѣты.

Черезмѣрная фильтрація воды никоимъ образомъ не можетъ быть причислена къ недостаткамъ разсматриваемой системы затворовъ, а потому эта система примѣнима къ рѣкамъ съ малымъ расходомъ или къ плотинамъ, использующимъ расходъ для какихъ-либо другихъ постороннихъ цѣлей.

Значительный сравнительно расходъ воды въ промежутки шир. 0,10—0,12 м. подтверждаетъ нѣкоторымъ образомъ высказанное выше мнѣніе, что высота щитовъ на обоихъ отверстіяхъ плотины должна быть равной высотѣ подпорнаго горизонта.

Вышеисчисленный расходъ 60,84 куб. м. соответствуетъ расходу р. Сены при горизонтѣ на 0,35 м. выше межени. При горизонтѣ 1 м. выше межени расходъ равенъ 160 куб. м. Предполагая, что при этомъ расходъ черезъ промежутки будетъ равенъ 60 куб. м., что не совсѣмъ вѣрно, получимъ остатокъ въ 100 куб. м., который долженъ переливаться черезъ щиты.

При длинѣ судоходнаго отверстія 54,70 и водоспускнаго 70,10 м. и  $x$  — толщины переливающегося слоя, можемъ написать:

$$100 = 2 \times 124,80 x \sqrt{x}, \text{ откуда } x = 0,54 \text{ м.}$$



Такимъ образомъ весь расходъ рѣки проходитъ черезъ плотину при толщинѣ переливающегося слоя равной 0,51 м., при условіи, что оба отверстія плотины цѣликомъ закрыты. Такое возвышеніе горизонта повлекло бы за собою нежелательныя послѣдствія, а именно затопленія служебнаго мостика или самоопрокидываніе щитовъ на судоходномъ отверстіи. Но мы уже знаемъ, что прежде чѣмъ горизонтъ верхняго бьефа успѣетъ подняться до этой высоты, щиты водоспускнаго отверстія придуть въ навѣсъ и пропустятъ весь излишекъ расхода.

Необходимо еще замѣтить, что даже во время межени, расходъ рѣки можетъ хотя кратковременно, но весьма значительно увеличиться. Такъ, напримѣръ, верховая плотина можетъ почему либо дать большой пропускъ или появится лѣтній наводокъ,—плотина должна быть въ состояніи легко справляться съ подобными явленіями. Ниже увидимъ, что затворы водоспускнаго отверстія вполнѣ удовлетворяютъ этимъ условіямъ.

*Это именно свойство быстро пропускать средніе наводки, не создавая никакихъ хлопотъ, составляетъ одно изъ самыхъ важныхъ преимуществъ затворовъ системы Шаноана.*

**Ширина щитовъ.** Ширина щитовъ зависитъ отъ его конструкціи, отъ прочности составныхъ его частей, отъ тѣхъ приспособленій, которыя будутъ примѣнены для управленія имъ и пр.

На Сенѣ ширина щита принята равной 1,30 м. при высотѣ его 2,00 м. (Табл. 10, фиг. 111, 109) 1,20 м., при высотѣ 3,00 м. (Табл. 10, фиг. 110, 107) и 1,00 м. при высотѣ 3,83 м. (Табл. 7, фиг. 61, 62).

На Саонѣ (Табл. 7, фиг. 51) ширина щита 1,10 м. при высотѣ его 3,62 м.

Изъ этихъ данныхъ видимъ, что съ уменьшеніемъ ширины щитовъ, возрастаетъ ихъ длина, остается какъ бы постояннымъ статическое давленіе на щитъ, которое имъ извѣстно пропорціонально произведенію ширины на квадратъ высоты. Конечно, уменьшеніе ширины щита ограничивается хотя бы тѣмъ, что щитъ долженъ прикрывать свою раму, а послѣдняя для своей устойчивости должна имѣть возможно значительное основаніе.

**Положеніе оси вращенія щита для судоходнаго отверстія.** Щиты судоходныхъ отверстій не должны никоимъ образомъ опрокидываться сами собою. Неизбѣжныя послѣдствія самоопрокидыванія щита—обмелѣніе верхняго бьефа, наводненіе нижняго бьефа и вообще причиненіе значительнаго разстройства въ движеніи судоходства и въ управленіи ближайшими плотинами, до аварій съ судами включительно. Кромѣ того, сильное теченіе можетъ увлечь карчи или другія тѣла, находящіяся въ руслѣ рѣки, которыя, застрявъ между рамами и подкосами, воспрепятствуютъ правильной установкѣ щитовъ. Вотъ почему особенно важнымъ является вопросъ точнаго опредѣленія такого положенія оси, при которомъ щиты судоходнаго отверстія не могли бы сами собою опрокидываться.

Условіе это, конечно, было бы выполнено при помѣщеніи оси выше половины высоты щита, но нельзя опускать изъ вида, что чѣмъ выше будетъ помѣщена ось вращенія, тѣмъ значительнѣе длины и вѣсъ рамы и подкоса, тѣмъ труднѣе подниманіе щита съ поверхности флутбета. Значитъ высота расположенія оси не должна быть больше того, что требуется выше поставленнымъ условіемъ.

Не трудно опредѣлить предѣлъ этой высоты.

Въ самомъ дѣлѣ, рассмотримъ щитъ въ стоячемъ его положеніи и означимъ черезъ  $H$ —вертикальную проекцію щита,  $h$ —высоту (надъ порогомъ) горизонта нижняго бьефа  $\alpha$  уголъ составляемый имъ съ вертикалью и толщину переливающегося слоя воды (Табл. 17, фиг. 190).

Тогда давленіе  $P$  воды съ передней стороны щита на пог. метръ ширины выразится какъ мы знаемъ такъ.

$$P = \frac{1000}{2 \cos \alpha} \cdot H (H + 2 u)$$



Моментъ  $P$  относительно основанія щита будетъ

$$M_p = \frac{1000}{6 \cos^2 \alpha} H^2 (H + 3 u).$$

Давленіе  $P'$  воды съ нижней стороны щита будетъ

$$P' = \frac{1000}{2 \cos \alpha} h^2$$

Моментъ  $P'$  относительно основанія щита будетъ

$$M_{p'} = \frac{1000}{6 \cos^2 \alpha} h^3.$$

Равнодѣйствующая давленій будетъ

$$P - P' = \frac{1000}{2 \cos \alpha} \left[ H (H + 2 u) h^2 \right]$$

Разстояніе  $\Delta$  точки ея приложенія отъ основанія щита будетъ

$$\Delta = \frac{M_p - M_{p'}}{P - P'} = \frac{1}{3 \cos \alpha} \cdot \frac{H^2 (H + 3 u) - h^3}{H (H + 2 u) - h^2}$$

Чтобы самопрокидываніе щита не могло имѣть мѣста, необходимо, чтобы разстояніе оси вращенія отъ основанія щита было по меньшей мѣрѣ равно  $\Delta$ .

Значеніе величинъ  $H$ ,  $u$ ,  $h$  и  $\alpha$  въ каждомъ частномъ случаѣ опредѣляется элементами данной рѣки и размѣрами разборчатыхъ частей плотины, слѣдовательно, и наибольшее значеніе  $\Delta$  можетъ быть опредѣлено.

Однако, точныя значенія величинъ  $h$  и  $u$  на практикѣ не могутъ быть установлены. Дѣйствительно, предположимъ, на примѣръ, что почему либо потребовалось быстро сдѣлать большой пропускъ, слѣдствіемъ этого будетъ поднятіе уровня въ нижнемъ бьефѣ, и  $h$  получитъ, правда, на короткій срокъ, но очень большое значеніе. Значеніе  $u$  менѣе неопредѣленно, такъ какъ роль водоспускнаго отверстія и состоитъ въ томъ, чтобы регулировать толщину сливного слоя воды. Тѣмъ не менѣе, весьма возможны и здѣсь непредвидѣнныя случайности.

*De Lagréné* полагаетъ, что гораздо правильнѣе было бы при расчетахъ принять для величины  $h$  наибольшее значеніе, которое очевидно будетъ равно  $H$  потому что, разъ горизонтъ нижняго бьефа подымется до высоты горизонта верхняго бьефа, щиты становятся безполезными и могутъ быть опущены на флютбетъ.

Вставляя въ послѣднюю формулу для  $\Delta$  вмѣсто  $h$  величину  $H$ , получимъ

$$\Delta = \frac{1}{2} \cdot \frac{H}{\cos \alpha}$$

То есть, равнодѣйствующая давленій проходитъ черезъ середину щита независимо отъ того, какое значеніе принимаетъ  $u$ .

Вотъ почему цѣлесообразнѣе всего въ щитахъ для судоходнаго отверстія располагать ось вращенія именно по серединѣ щита.

На плотинахъ Верхней Сены, Юппы и Марны ось вращенія щитовъ расположена на  $\frac{5}{12}$  длины щита считая отъ его основанія: (Табл. 9, фиг. 78).

Но лучше было бы, если бы она была выше.

Въ *Port à l'Anglais* ось вращенія расположена на  $\frac{17}{36}$  длины щита. Разность между этимъ положеніемъ и положеніемъ на  $\frac{1}{2}$  длины щита  $= \frac{1}{36}$ , что для щита длиною 3,83 м. даетъ 0,106 м.; это не имѣетъ особаго значенія въ конструктивномъ отношеніи, но зато весьма важно въ смыслѣ начальнаго момента опрокидыванія. Данность эта получилась по расчету при предположеніи, что *max* высоты уровня нижняго бьефа будетъ находиться на 0,20 метра ниже верха щитовъ.



Весьма вѣроятно, что предѣлъ этотъ не будетъ въ дѣйствительности имѣть мѣста, но предложенный выше способъ рѣшенія задачи болѣе общій, простъ и въ результатѣ даетъ полную гарантію устойчивости щита. Притомъ размѣры составныхъ частей щита увеличиваются въ этомъ случаѣ такъ мало, что не можетъ быть и рѣчи объ увеличеніи расходовъ и затрудненій при маневрахъ.

Въ приведенномъ выше расчетѣ не было принято во вниманіе ни вѣсъ щита, ни треніе въ оси вращенія, ни скорость теченія въ верхнемъ бьефѣ. Но эти факторы не имѣютъ серьезнаго значенія по сравненію со статическимъ давленіемъ воды и введеніе ихъ въ формулы привело бы къ бесполезному усложненію расчета.

**Уклонъ щита для судоходныхъ отверстій.** Щитъ, находящійся подъ давленіемъ воды, передаетъ это давленіе на порогъ, подкосъ и раму, причемъ подкосъ подвергается сжатію, а рама растягивающему усилию, дѣйствующему въ плоскости рамы. Значеніе послѣднихъ двухъ силъ мѣняется при измѣненіи уклона щита; отъ степени этого уклона зависитъ также и величина напряженій въ полотнѣ самого щита. Въ виду этого весьма важно ознакомиться съ этими измѣненіями, дабы во 1-хъ, выбрать наиболѣе выгодный уклонъ щита, а во 2-хъ чтобы выяснитъ характеръ тѣхъ усилий, которымъ должны сопротивляться каждая изъ составныхъ частей разсматриваемаго затвора.

Обозначимъ (Табл. 17, фиг. 191)

$\alpha$ —уголъ составляемый полотномъ щита съ вертикалью,

$\beta$ —уголъ, составляемый подкосомъ съ вертикалью въ стоячемъ положеніи,

$H$ —вертикальную проекцію щита въ его стоячемъ положеніи,

$$l — \text{длину щита} = \frac{H}{\cos \alpha}$$

$S$ —составляющую  $Q$  по направленію подкоса  $OD$ .

$T$ —составляющую  $Q$  по направленію рамы  $OB$

$u$ —толщина переливающегося черезъ верхнее ребро щита слоя воды.

Выше мы видѣли, что моментъ дѣйствующихъ на щитъ усилий относительно точки  $A$ , на 1 пог. метръ щита будетъ.

$$M_p - M_{p'} = \frac{1000}{6 \cos^2 \alpha} \left[ H^2 (H + 3u) - h^3 \right]$$

Взявъ самый неблагоприятный случай, т. е. принявъ  $h = 0$  получимъ:

$$M_p = \frac{1000}{6 \cos^2 \alpha} H^2 (H + 3u)$$

Составляющая давленія  $Q$  проходитъ черезъ точку  $O$ , дѣлящую щитъ пополамъ, и выражается такъ.

$$Q = \frac{2}{l} + \frac{1000}{6 \cos^2 \alpha} H^2 (H + 3u) =$$

$$= \frac{2 \cos \alpha}{H} + \frac{1000}{6 \cos^2 \alpha} H^2 (H + 3u) = \frac{1000}{3 \cos \alpha} + H (H + 3u)$$

Рама  $OB$  при стоячемъ положеніи щита наклонена слегка въ сторону противъ теченія такъ, чтобы центръ тяжести щита проектировался нѣсколько выше нижней точки ( $B$ ) вращенія рамы.

Уголъ, составляемый рамой съ вертикалью равенъ  $5^\circ$ . Дѣлается это съ той цѣлью, чтобы при подыманіи щита облегчить установку на мѣсто подкоса. Это условіе совмѣстно съ значеніями величинъ  $\alpha$  и  $H$  опредѣляютъ ширину порога  $AB$  и длину самой рамы  $OB$ .

Изъ треугольника  $OAB$  имѣемъ:  $\frac{AB}{\sin (\alpha + 5^\circ)} = \frac{AO}{\sin (90^\circ - 5^\circ)}$ ;  $OA = \frac{H}{2 \cos \alpha}$ ;

$$AB = \frac{H}{2} \times \frac{\sin (\alpha + 5^\circ)}{\cos \alpha \cdot \cos 5^\circ} \text{ и } OB = \frac{H}{2 \cos 5^\circ}$$



Основаніе  $BD$  треугольника  $BOD$  опредѣляется слѣдующимъ образомъ: откладываемъ отъ точки  $B$  длину  $BC=BO$ , что дастъ намъ положеніе рамы въ лежачемъ положеніи щита; затѣмъ отъ точки  $C$  откладываемъ по тому же направленію 0,50 или 0,60 м. для установки рейки съ заплечиками и ея направляющихъ. Точка  $D$ , которую займетъ уступъ коробки и будетъ вмѣстѣ съ тѣмъ концомъ подкоса, а длина и направленіе его—линія  $DO$ .

Называя черезъ  $b$  длину отрезка  $CD$ , получимъ  $OB = \frac{H}{2 \cos 5^\circ}$ ;  $BD = -\frac{H}{2 \cos 5^\circ} + b$ ;

или

$$\frac{OB}{BD} = \frac{\cos \beta^\circ}{\sin (\beta^\circ - 5^\circ)},$$

откуда

$$\frac{\frac{H}{2 \cos 5^\circ} + b}{\frac{H}{2 \cos 5^\circ}} = \frac{\sin \beta^\circ \cos 5^\circ - \cos \beta^\circ \sin 5^\circ}{\cos \beta^\circ}; \quad \operatorname{tg} \beta^\circ = \frac{1}{\cos 5^\circ} + \operatorname{tg} 5^\circ + \frac{2b}{H}.$$

Не трудно замѣтить, что при измѣненіи угла  $\alpha$ , если при этомъ проекція  $H$  щита и точка  $A$  сохраняетъ свое положеніе, величина треугольника  $BOD$  не измѣнитъ своего значенія, а треугольникъ этотъ только перемѣстится параллельно самому себѣ.

Такимъ образомъ при заданныхъ подпорѣ  $H$  и положеніи оси вращенія  $H$ , длина и уклонъ рамы и подкоса являются тоже величинами опредѣленными, и при измѣненіи угла  $\alpha$  мѣняется лишь  $l$  длина щита и  $AB$ —ширина порога.

Установивъ указанные положенія, разложимъ теперь силу  $Q$  на двѣ составляющія  $S$  и  $T$  по направленіямъ подкоса и рамы.

Тогда получимъ  $\frac{S}{\sin (90 + (\alpha^\circ + 5^\circ))} = \frac{Q}{\sin (\beta^\circ - 5^\circ)}$  или  $S = Q \frac{\cos (\alpha^\circ + 5^\circ)}{\sin (\beta^\circ - 5^\circ)}$ ;

$$T = Q \frac{\cos (\alpha^\circ + \beta^\circ)}{\sin (\beta^\circ - 5^\circ)}.$$

Замѣняя  $Q$  значеніемъ ея, опредѣленнымъ выше, получимъ

$$S = \frac{1000(H + 3u)}{3 \sin (\beta^\circ - 5^\circ)} \times \frac{\cos (\alpha^\circ + 5^\circ)}{\cos \alpha}$$

$$T = \frac{1000(H + 3u)}{3 \sin (\beta^\circ - 5^\circ)} \times \frac{\cos (\alpha^\circ + \beta^\circ)}{\cos \alpha}$$

Въ этихъ двухъ формулахъ можетъ измѣняться только величина угла  $\alpha$ .

Нетрудно замѣтить, такъ какъ уголъ  $\beta$  остается постояннымъ, то  $\max. S$  будетъ при  $\max.$

выраженія

$$\frac{\cos (\alpha^\circ + 5^\circ)}{\cos \alpha}$$

$$\frac{\cos (\alpha^\circ + 5^\circ)}{\cos \alpha} = \frac{\cos \alpha \cos 5^\circ - \sin \alpha \sin 5^\circ}{\cos \alpha}; \quad \cos 5^\circ - \operatorname{tg} \alpha \sin 5^\circ = f(\alpha)$$

$\max. f(\alpha)$  при  $\alpha = 0$   $\operatorname{tg} \alpha_{\alpha=0} = 0$  и  $f(\alpha) = \cos 5^\circ - \sin 5^\circ$ ; максимумъ для силъ  $T$  и  $S$  будетъ въ случаѣ  $\alpha = 0$ , конечно, въ этихъ формулахъ  $\alpha$  имѣетъ только положительное значеніе. Затѣмъ значенія для  $T$  и  $S$  все уменьшаются до нуля, послѣ чего переходятъ въ величины отрицательныя, возрастаая въ абсолютномъ смыслѣ до безконечности при  $\alpha = 90^\circ$ .

Растягивающее усиліе  $T$  равно нулю при  $(\alpha + \beta) = 90^\circ$  или при  $\alpha = 90^\circ - \beta$ ; въ этомъ случаѣ подкосъ приходитъ въ положеніе перпендикулярное къ щиту и рама больше не испытываетъ никакого напряженія (растяженія); но вмѣстѣ съ тѣмъ при  $\alpha = 90^\circ - \beta$  для  $l$  полу-

чимъ выраженіе ( $l = -\frac{H}{\cos \alpha}$ ) значительной величины, т.-е. длина щита будетъ чересмѣрно



велика и его продольные ребра должны будут выдерживать чрезмерныя усилія. Иначе говоря, получится щитъ весьма большихъ размѣровъ, съ которыми будетъ трудно управляться.

Численный примѣръ послужитъ къ лучшему уясненію сказаннаго.

Выше была приведена такая формула.

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} 5^{\circ} + \frac{1}{\cos 5^{\circ}} + \frac{2b}{H} = 1,092 + \frac{2b}{H}.$$

Предполагая  $H = 3,60$  и  $b = 0,50$ , какъ это принято для плотины *Port à l'Anglais*, получимъ  $\operatorname{tg} \beta = 1,369$  или  $\beta = 53^{\circ}$ . Длина щита при  $\alpha = 90^{\circ} - \beta = 37^{\circ}$  получится изъ слѣдующаго выраженія  $l = \frac{H}{\cos \alpha} = \frac{3,60}{0,7986} = 4,507$  м. и длина верхней части щита  $\frac{l}{2} = 2,253$  м.

При  $\alpha$  же равномъ  $20^{\circ}$ , получимъ  $l = 3,83$  и  $\frac{l}{2} = 1,915$  м.

На Верхней Сенѣ при  $H = 3$  метра, приняли  $\alpha = 8^{\circ}$  (Табл. 11, фиг. 132) между тѣмъ какъ въ *Port à l'Anglais* при  $H = 3,60$  м.  $\alpha = 20^{\circ}$ , наконецъ на Саонѣ при  $H = 3,60$  м.,  $\alpha = 8^{\circ}$ ,  $\beta = 54^{\circ}$  и уголъ рамы съ вертикалью  $= 4^{\circ}$ .

Вообще говоря, весьма трудно установить какое-нибудь общее правило при выборѣ значенія для угла  $\alpha$ ; значеніе это такъ и остается почти произвольнымъ. De Lagrené полагаетъ что, придавая углу  $\alpha$  значеніе равное половинѣ этого угла, при которомъ  $T=0$ , мы будемъ, такъ сказать, у золотой середины.

И такъ пусть  $\alpha = \frac{1}{2}(90^{\circ} - \beta)$ .

При такомъ условіи для *Port à l'Anglais*  $\alpha$  равнялось бы  $\frac{1}{2}(90 - 53) = 18^{\circ} 30'$  вмѣсто принятыхъ  $20^{\circ}$ .

Какъ бы то ни было, весьма полезно для каждаго частнаго случая составить таблицу численныхъ значеній для  $l$ ,  $R$ ,  $S$  и  $T$  при различныхъ значеніяхъ угла  $\alpha$ , начиная отъ  $0^{\circ}$  до  $90^{\circ} - \beta$  и разсмотрѣть, какимъ образомъ величины эти мѣняются при измѣненіи  $\alpha$ . Такимъ именно путемъ инженеръ Boulé пришелъ къ заключенію, что для плотины въ *Port à l'Anglais* удобнѣе всего остановиться для угла  $\alpha$  на  $20^{\circ}$ .

Такая таблица имѣетъ слѣдующій видъ:

Уголъ установленнаго щита съ вертикалью $\alpha$	Длина щита $l = \frac{H}{\cos \alpha}$	Составляющая нормальнаго давленія по срединѣ щита $Q = \frac{1000(H+3u)}{3 \cos \alpha}$	Составляющая давленія по полюсу $S = \frac{1000(H+3u)H}{3 \sin(\beta-5^{\circ})} \times \frac{\cos(\alpha+5^{\circ})}{\cos \alpha}$	Составляющая давленія на раму $T = \frac{1000H(H+3u)}{3 \sin(\beta-5^{\circ})} \times \frac{\cos(\alpha+\beta)}{\cos \alpha}$	Мак. изгибающаго момента въ верхней части щита $\frac{RJ}{n} = \frac{1000H^2(\frac{H+3u}{2})}{24 \cos^2 \alpha}$	Замѣчанія о принятыхъ формулахъ и проч.
$0^{\circ}$						
$5^{\circ}$						
$10^{\circ}$						
$90^{\circ} - \beta$						



**Конструкция полотна щита.** Дерево, какъ матеріалъ, употребляемый для устройства щитовъ Шаноана, имѣетъ свои недостатки: оно коробится, сопряженія отдѣльныхъ частей легко разстраиваются, и притомъ оно сравнительно быстро гніетъ. Въ виду этого казалось бы, что для подѣлки полотна удобнѣе было бы употреблять желѣзо. Но, не говоря о томъ, что желѣзо, значительно дороже дерева, управление желѣзными щитами представило бы значительное затрудненіе и требовало бы болѣе продолжительнаго времени, потому что важное преимущество дерева заключается въ его плавучести, благодаря чему деревянное полотно щита теряетъ въ водѣ свой вѣсъ. Для желѣзныхъ щитовъ потребовались бы болѣе сильныя подъемныя приспособленія. Въ виду сказаннаго болѣе удобнымъ матеріаломъ для устройства щитовъ слѣдовало бы признать дерево.

Щиты на плотинахъ Верхней Сены и Ионн'у устроены изъ четырехъ деревянныхъ стоекъ, соединенныхъ по краямъ двумя поперечинами, при чемъ среднія стойки въ сравненіи съ крайними являются перегруженными. (См. Табл. 11, фиг. 131). На рѣкѣ Саонѣ и на плотинѣ *Port à l'Anglais* конструкция щитовъ болѣе совершенна (Табл. 7, фиг. 52); тамъ, какъ видно изъ чертежа, полотно щита основано только на двухъ стойкахъ, конечно, болѣе сильнаго сѣченія. Особенно цѣлесообразной признается инж. de Lagrené конструкция щитовъ въ *Port à l'Anglais* (Табл. 7, фиг. 61, 62).

Не лишнимъ будетъ привести здѣсь описаніе устройства этихъ щитовъ самого составителя проекта и строителя инженера *Boulé*.

Остовъ щита состоитъ изъ двухъ брусчатыхъ стоекъ шир. 0,30 м.; толщина ихъ отъ низа до оси вращенія щита нѣсколько выше послѣдней—0,20 м., далѣе эта толщина уменьшается и на верху доходитъ до 0,15 м. Стойки связаны четырьмя поперечинами, входящими въ стойки шипами. Непосредственно надъ нижней поперечиной прикрѣплена чугунная призма 0,20 × 0,15 м. длиною 0,44 м., которая служитъ противовѣсомъ, способствующихъ приведенію щита въ стоячее положеніе. Вѣсъ призмы около 100 киллограммъ. Моментъ ея относительно оси вращенія  $100 \times 1,3 = 134$  киллогр.—метра. Щиты судоходныхъ отверстій на Верхней Сенѣ снабжены противовѣсами въ 60 киллограммъ, моментъ его 96 к. м.

Весьма трудно заранѣе опредѣлить точный вѣсъ призмы, но при такомъ ея помѣщеніи, какъ указано выше, легко вѣсъ этотъ увеличить или уменьшить, согласно указаніямъ опыта.

Призма врѣзана въ обѣ стойки на 0,02 м. и скрѣплена съ послѣднимъ болтомъ, что предохраняетъ щитъ отъ деформаціи.

Какъ сказано, среднія поперечины соединяются со стойками шипами и скрѣпляются съ ними желѣзными угольниками 0,20 × 0,15 м. на болтахъ (или просто болтами). Также скрѣплены со стойками и крайнія поперечины, которыя кромѣ того со стороны напора снабжены желѣзной дугой для удобнаго захвата щита багромъ.

Наконецъ, къ поперечинамъ прикрѣпляется болтами обшивка (толщ. 0,05 м.) для которой въ стойкахъ вынимаются четверти.

Нижняя поперечина на щитахъ р. *Saone* устроена вся изъ чугуна и служитъ вмѣстѣ съ тѣмъ противовѣсомъ (Табл. 7, фиг. 49). Въ виду сильнаго сѣченія этой чугунной поперечины, поломки ея маловѣроятны, хотя, конечно, въ этомъ случаѣ желѣзо слѣдовало бы предпочесть чугуну.

**Разсчетъ вертикальныхъ стоекъ.** Разсмотримъ нѣкоторую длину щита отъ его верхняго ребра внизъ. Пусть вертикальная проекція ея равна  $x$ . Изгибающій моментъ давленія воды на эту часть согласно вышеизложенному выразится такъ:

$$M_x = \frac{1000 x^2 (x + 3 u)}{6 \cos^2 \alpha}$$

Это въ томъ случаѣ, если разсматриваемая нами длина щита будетъ менѣе длины его верхней части; если же на длинѣ  $x$  помѣщается и ось вращенія щита, то выраженіе моментъ будетъ такое:

$$M_x = \frac{1000 x^2 (x + 3 u)}{6 \cos^2 \alpha} - Q \left( \frac{x}{\cos \alpha} - \lambda \right)$$



гдѣ  $\lambda$  = полной длинѣ верхней части щита, а  $Q$  составляющая давленія въ точкѣ  $O$  вращенія щита, но

$$Q = \frac{H^2 (H + 3u)}{6 \lambda' \cos^2 \alpha} \cdot 1000$$

гдѣ  $\lambda'$  = длинѣ нижней части щита.

Предположимъ далѣе, какъ и выше, что, въ случаѣ щитовъ судоходнаго отверстія

$$\lambda = \lambda' = \frac{H}{2 \cos \alpha}; \text{ тогда}$$

$$Q = \frac{H (H + 3u)}{3 \cos \alpha} \cdot 1000$$

и выраженіе момента изгибающихъ усилій для нижней части щита при глубинѣ  $x$ , считая эту послѣднюю отъ верха щита, получить слѣдующій видъ:

$$\frac{1000 x^2 (x + 3u)}{6 \cos^2 \alpha} - \frac{1000 H (H + 3u)}{3 \cos \alpha} \left( \frac{x}{\cos \alpha} - \frac{H}{2 \cos \alpha} \right)$$

$$\text{или: } \frac{1000 x^2 (x + 3u)}{6 \cos^2 \alpha} - \frac{1000 H (H + 3u) (2x - H)}{6 \cos^2 \alpha}$$

Максимумъ выведенныхъ выраженій будетъ при  $x = \frac{H}{2}$ , т. е. для точки, гдѣ помещается ось вращенія; максимумъ же изгибающаго момента щита ширин.  $L$  будетъ

$$\frac{1000 H^2 \left( \frac{H}{2} + 3u \right)}{2 H \cos^2 \alpha} \cdot L = \frac{RI}{z_0}$$

Называя черезъ  $a$  ширину стойки и черезъ  $b$  ея толщину у оси вращенія, получимъ  $w = \frac{b}{n} = \frac{ab^2}{6}$ ; принимая же во вниманіе, что каждая стойка выдерживаетъ половину полного давленія на щитъ, получимъ максимумъ изгибающаго момента на одну стойку равнымъ

$$\frac{Rab^2}{6} = \frac{1}{2} \cdot \frac{100 H^2 \left( \frac{H}{2} + 3u \right)}{2 H \cos^2 \alpha} \cdot L$$

Это уравненіе даетъ намъ возможность опредѣлить одинъ изъ размѣровъ стойки.

Для щитовъ въ *Port à l'Anglais*, гдѣ  $a = 0,30$  м.,  $b = 0,20$  м.,  $H = 3,60$  м.,  $u = 0,40$  м.,  $L = 1,00$  м. получимъ  $R = 45$  киллограммъ на кв. сантиметръ.

Мало вѣроятно, чтобы слой переливающейся поверхъ щита воды превзошелъ когда-либо  $0,40$  м., но и при  $0,60$  м.  $R$  все-таки будетъ равно  $73$  кил. на кв. сант., что можетъ быть допущено, особенно при непринятіи во вниманіе сопротивленія обшивки щита.

Ниже, при разсмотрѣніи щитовъ водослива, мы узнаемъ, какимъ образомъ можно установить предѣлы величины  $u$ . Во всѣхъ вышеприведенныхъ расчетахъ имѣлось въ виду одно лишь статическое давленіе воды, между тѣмъ какъ щитъ подвергается и динамическому давленію, положимъ весьма кратковременному, но достигающему почти двойного значенія противъ статическаго.

**Расчетъ поперечинъ и обшивки.** Для того, чтобы опредѣлить положеніе поперечинъ и ихъ размѣры, а также толщину обшивки, можно примѣнить ходъ расчета примѣняемый обычно для шлюзныхъ воротъ.

Такъ какъ обшивка щита обыкновенно не измѣняетъ своей толщины по всей длинѣ щита, то цѣлесообразно разстояніе между поперечинами уменьшать по направленію къ низу.

Для облегченія расчета обшивки можно предположить, что она представляетъ собою не разрывную балку, а обыкновенную между каждыми двумя поперечинами.

Вслѣдствіе конструктивныхъ условій поперечины дѣлаются гораздо сильнѣе, чѣмъ необходимо по расчету.



**Верхніе рамные подшипники.** Верхніе рамные подшипники, прикрѣпляемые къ стойкамъ болтами (Табл. 11, фиг. 127 и Табл. 7, фиг. 57, 58, 59, 64) должны быть достаточно сильны, дабы они могли сопротивляться всякимъ стремленіямъ щита уклониться въ сторону во время различныхъ манипуляцій съ нимъ. Съ этой цѣлью горизонтальныя лапки подшипниковъ загибаются подъ прямымъ угломъ и обхватываютъ боковыя поверхности стоекъ.

Выше, когда была рѣчь о наивыгоднѣйшемъ положеніи шкива, по которому проходитъ конецъ для подъема щитовъ, было сказано, что каждый подшипникъ рамы снабжается особымъ выступомъ. Назначеніе послѣдняго ограничивать стремленія щита (при подниманіи его) къ принятію положенія, значительно уклоняющагося отъ горизонтальнаго. Такое явленіе наблюдается при завершеніи подъема щита, когда рама его приходитъ въ почти вертикальное положеніе.

Само собою разумѣется, что въ этотъ моментъ сила теченія напираетъ на заднюю поверхность хвоста щита и что приведеніе щита въ требуемое положеніе весьма затруднительно и тѣмъ труднѣе, чѣмъ больше перепадъ между бьефами и чѣмъ больше уголъ между щитомъ и горизонтальною. Если же соотвѣтственнымъ расположеніемъ упомянутыхъ выступовъ уголъ этотъ будетъ ограниченъ, положимъ 15 градусами, то при нажатіи нижняго плеча щита нетрудно закончить его установку.

Однако, выступы эти представляютъ въ то же время и серьезныя неудобства и вотъ что объ нихъ говоритъ инженеръ *Boulé*.

„Когда лежащій на флютбетѣ щитъ незначительно приподнятъ и означенные выступы еще прикасаются къ рамѣ, полотно щита и рама при дальнѣйшемъ дѣйствіи лебедки, должны вращаться около нижней оси рамы. Если при этомъ направленіе подъемной цѣпи совпадаетъ съ этой осью или проходитъ близко къ ней, подъемъ щита становится невозможнымъ. Такое явленіе наблюдалось при высокомъ уровнѣ верхняго бьефа, при которомъ служебное судно и лебедка были слишкомъ приподняты надъ щитомъ и подъемная цѣпь принимала положеніе близкое къ вертикальному.

При служебномъ мостикѣ обыкновенно высокомъ, относительное положеніе лебедки еще менѣе выгодно, и для того, чтобы подыманіе щита могло происходить правильно, необходимо было бы мостикъ и лебедку расположить на значительномъ разстояніи отъ щитовъ.

Графическое построеніе наглядно покажетъ, что даже при очень близкомъ расположеніи мостика у линіи щитовъ, подыманіе послѣднихъ можетъ производиться совершенно свободно, если подшипники рамы не будутъ имѣть означенныхъ выступовъ“.

При постройкѣ плотины въ Port'a l'Anglais выступы эти упразднены и совершенно правильно.

Можно къ этому добавить, что при наличности служебнаго мостика и при отсутствіи выступовъ, значительный уклонъ щита отъ горизонтали не представляетъ особеннаго неудобства, такъ какъ окончательная установка щитовыхъ плотинъ можетъ быть исполнена за разъ, послѣ предварительнаго поднятія всѣхъ станинъ, такъ что скорость теченія не успѣетъ сильно увеличиться.

Изъ этого слѣдуетъ, что введенія служебныхъ мостиковъ и упраздненіе выступовъ слѣдуетъ признать правильнымъ, какъ для водосливныхъ, такъ и для судоходныхъ отверстій. Впрочемъ къ этому придется еще разъ вернуться при расчетѣ силы тяги для подъема щитовъ.

**Разсчетъ подкоса.** Верхній конецъ подкоса изогнуть въ видѣ пастырскаго посоха (Табл. 9, фиг. 78). Этотъ изгибъ допускаетъ возможность помѣщенія рейки съ заплечиками въ требуемомъ на флютбетѣ мѣстѣ. Такой типъ подкоса принять для плотинъ Верхней Сены, какъ для судоходныхъ отверстій, такъ и для водоспускныхъ, хотя при послѣднихъ нѣтъ рейки съ заплечиками.

Инженеръ *Hirsch* примѣнилъ болѣе совершенную конструкцію для р. Саоны; его подкосъ имѣетъ прямолинейный видъ, болѣе соотвѣтствующій характеру испытываемыхъ подкосомъ усилій. Для помѣщенія же рейки потребовалось нѣсколько понизить поверхность флютбета и придать нижней оконечности подкоса нѣкоторое утолщеніе, удерживающее подкосъ (въ его лежащемъ положеніи) на извѣстномъ разстояніи отъ поверхности флютбета (Табл. 7, фиг. 49, 50, 54, 55).

Инженеръ *Boulé* ввелъ новыя усовершенствованія въ этомъ направленіи. Онъ еще болѣе



понижилъ флютбетъ, упразднивъ при этомъ утолщеніе нижней части подкоса, и помѣстивъ на флютбетъ подушки (изъ дерева или камня) для поддержки щитовыхъ стоекъ.

Падающій на флютбетъ щитъ ложится своими четырьмя углами на четыре подушки и поддерживается въ данномъ положеніи верхъ рамы и верхнюю часть подкоса, подъ которой помѣщается рейка съ заплечиками (Табл. 7, фиг. 57, 58, 59).

Послѣдняя комбинація можетъ считаться лучшей, но примѣненіе ея къ деревянному обыкновенно горизонтальному флютбету, немного затруднительно. Лежачій подкосъ прикрывается въ планѣ рейку, а потому необходимо, чтобы подкосъ имѣлъ вышеописанный изгибъ въ верхнемъ своемъ концѣ или утолщеніе въ нижнемъ.

*Подкосъ долженъ обладать значительной массой, дабы онъ могъ сопротивляться силѣ теченія, стремящейся поднять его во время подыманія щитовъ или когда полотна щитовъ свободно вращаются на своей оси.*

Въ силу этого и размѣры подкоса всегда удовлетворяютъ условію его прочности, даже и въ томъ случаѣ, когда направленіе сжимающаго подкосъ усилія не совпадаетъ съ осью подкоса.

Нижней части подкоса для пониженія центра его тяжести приданы большіе размѣры, что вмѣстѣ съ тѣмъ облегчаетъ помѣщеніе рейки. Въ общемъ форма подкоса соответствуетъ виду балки равнаго сопротивленія, несущей вертикальную нагрузку.

На нѣкоторомъ разстояніи отъ нижняго конца подкоса имѣется кольцевое утолщеніе, служащее для захвата въ случаѣ надобности подкоса багромъ (Табл. 9, фиг. 78).

Подкосъ прямой соединяется съ головой рамы при помощи хомута и клиньевъ, черезъ который проходитъ болтъ. Собственно говоря, клинья сопротивляются дѣйствующимъ усиліямъ, а болтъ служитъ лишь для должнаго скрѣпленія составныхъ частей соединенія (Табл. 7, фиг. 67, 68, 69, 70).

Подкосъ же посохообразный соединяется съ головой рамы при посредствѣ двухъ обухинъ и одного болта (Табл. 9, фиг. 78).

Выше было сказано, что состоящая давленія по направленію подкоса выражается такъ:

$$S = \frac{1000 H (H + 3u)}{3 \sin (\beta - 5^\circ)} \cdot \frac{\cos (\alpha + 5^\circ)}{\cos \alpha} \cdot L$$

Полагая  $H=3,60$  м.,  $u=0,40$  м.  $L=1,00$  м.,  $\alpha=20^\circ$ ,  $\beta=53^\circ$ , получимъ  $S=7476$  киллогр.

Діаметръ сѣченія подкоса равенъ  $=0,09$  м., площадь сѣченія  $=0,006361$  кв. м.

Максимумъ дѣйствующаго усилія на 1 кв. миллиметр (напряженія)  $\frac{7466}{6,361} = 1,17$  клгр., это при условіи совпаденія направленія силы съ осью подкоса.

Къ другимъ выводамъ мы придемъ, предположивъ, что направленіе силы не совпадаетъ съ осью подкоса, выражаясь иначе, что направленіе силы эксцентрично.

На практикѣ такъ это и бываетъ, потому что математически точное выполненіе проекта на дѣлѣ едва ли мыслимо и эксцентричность хотя бы весьма незначительная, всегда имѣетъ мѣсто даже въ случаѣ прямого подкоса.

Итакъ, пусть  $r$  обозначаетъ радіусъ сѣченія подкоса,  $\epsilon$  разстояніе силы до центра сѣченія,  $R_1$ —напряженіе на единицу площади, происходящее отъ эксцентричности  $\epsilon$ .

Изгибающій моментъ будетъ:  $S\epsilon$ .

Моментъ инерціи сѣченія  $= \frac{\pi r^4}{4}$ ; моментъ сопротивленія  $= \frac{\pi r^3}{4}$ ; слѣдовательно  $\frac{R_1 \pi r^3}{4} = 2S\epsilon$  откуда  $R_1 = \frac{4S\epsilon}{\pi r^3}$ .

Это сжимающее подкосъ напряженіе должно быть прибавлено къ тому напряженію, получающемуся при дѣйствіи силы  $S$  по направленію оси и которое выражается такъ:

$$R_2 = \frac{S}{\pi r^2}$$

Слѣдовательно, полное напряженіе, которому долженъ сопротивляться подкосъ

$$R = R_1 + R_2 = \frac{S}{\pi r^2} \left( 1 + \frac{4\epsilon}{r} \right)$$



Изъ этого мы видимъ какъ сильно возрастаетъ  $R$  съ увлеченіемъ  $\varepsilon$ , такъ напр., при  $\varepsilon=r$ , значеніе  $R$  въ пять разъ болѣе того, что было бы при совпаденіи силы  $S$  съ осью подкоса. При  $\varepsilon=2r$  —  $R$  въ девять разъ болѣе и т. д.

Теперь ясно, какія преимущества представляетъ собою прямой подкосъ передъ посохообразнымъ.

Замѣтимъ, наконецъ, что отношеніе діаметра сѣченія подкоса къ его длинѣ въ случаѣ высокихъ щитовъ весьма значительно, а именно въ Port à l'Anglais оно равно  $\frac{1}{40}$ . При такомъ отношеніи дѣйствующее на подкосъ усиліе не должно превысить 1,7 килогр. на 1 кв. миллиметръ сѣченія подкоса.

**Рама.** Рамы на судоходныхъ отверстіяхъ верхней Сены выкованы изъ одного куска желѣза; верхняя поперечина рамы снабжена двумя изогнутыми ушами, между которыми помѣщается голова подкоса (табл. 9, фиг. 78 и табл. 11, фиг. 127). Такая конструкція не соответствуетъ характеру дѣйствующихъ усилій, какъ объ этомъ мы уже говорили, да къ тому же подѣлка такой рамы чересмѣрно сложна (и этого можно избѣжать) и затруднительна особенно для рамъ значительныхъ размѣровъ. Наконецъ, выдѣлка изъ одного цѣльнаго куска становится затруднительной для щитовъ выше 3-хъ метровъ и даже при той высотѣ, которая соответствуетъ рамъ высотой приблизительно въ 1½ метра, послѣдній припой одной изъ стоекъ сопровождается часто разрушеніемъ всей рамы. Поперечина рамы на Саонѣ не имѣетъ упомянутыхъ ушей, но за то ей придана двойная кривизна—въ вертикальномъ и горизонтальномъ направленіяхъ. Такое, если можно такъ выразиться, вымученное образованіе части рамы тоже затрудняетъ подѣлку и не можетъ служить образцомъ для подражанія (табл. 7, фиг. 67, 68, 69, 70). Рама эта высотой 1.86 м., (между центрами цапфъ) составлена изъ отдѣльныхъ частей U-образнаго желѣза, соединенныхъ накладками на заклепкахъ. Ширина рамы по основанію 0,48 м., между внутренними гранями ногъ и 0,80 м., считая и длину цапфъ, что едва ли достаточно.

Вообще вся конструкція этой рамы слишкомъ легка и ненадежна.

Гораздо цѣлесообразнѣе запроектирована рама шарнирная *Boulé* для плотины Port à l'Anglais (Табл. 7, фиг. 63), съ условіемъ однако, что къ ней слѣдовало бы прибавить по меньшей мѣрѣ одну діагональную связь для неизмѣняемости системы. (Табл. 6, фиг. 48). Высота этой рамы 1,90 метр. между осями цапфъ. Ширина ея основанія 0,60, м. между внутренними гранями ногъ и 0,92 м., считая и длину цапфъ (Табл. 7, фиг. 63). Основаніемъ рамы служить валъ діаметромъ 0,08 и кольцеобразными утолщеніями въ мѣстахъ прилеганія къ нему ногъ. Головой рамы служить тоже валъ діаметромъ 0,13 м. въ точкѣ прилеганія къ нему подкоса, 0,18 м.—по ребордамъ, которыя зажимаютъ подкосъ, 0,12 м.—въ смежномъ съ ребордами сѣченіи, 0,08 метр.—въ точкѣ прилеганія ногъ рамы и 0,06—въ сѣченіи цапфъ. Валъ этотъ прямой, не эксцентриченъ, подѣлка его не затруднительна.

Ноги рамы, состоящія изъ полоснаго желѣза  $0,04 \times 0,18$  м., заканчиваются каждая двумя обушинами для помѣщенія вала, укрѣпляемаго въ обушинѣ чекою и болтомъ. Кромѣ того, обѣ ноги связаны въ поперечномъ направленіи круглымъ желѣзомъ въ діаметрѣ 0,04 м.

Ноги рамы, такъ же, какъ и ея нижняя поперечина (валъ), должны быть рассчитаны на сопротивленіе большее теоретическаго, такъ какъ рама подвергается ударамъ, сотрясеніямъ и скручиванію, опредѣленіе которыхъ вовсе не поддается никакимъ расчетамъ.

Помимо растягивающихъ усилій равныхъ, какъ мы знаемъ

$$\frac{1000 (H + 3u) \cos (\alpha + \beta)}{3 \sin (\beta - 5^\circ) \cos \alpha} \cdot L$$

рама подвергается въ то же время и значительнымъ сжимающимъ усиліямъ, проявляющимся при подыманіи щита. Эти послѣднія усилія слагаются изъ дѣйствія силы тяжести составныхъ частей щита и силы тяги подъемной цѣпи.

Подсчетъ данныхъ силъ тяги въ Port à l'Anglais даетъ напряженіе 0,5 килогр. на 1 кв. миллиметръ сѣченія. Несмотря на это, уменьшеніе размѣровъ рамы едва ли могло бы быть допустимо.

Расчетъ вала головы рамы можетъ дать болѣе близкія къ дѣйствительности данныя.



Валъ этотъ можно разсматривать какъ балку закрѣпленную по срединѣ. Каждая изъ оконечностей этого вала сопротивляется дѣйствию двойного рода усилій; одно изъ нихъ  $\frac{Q}{2}$  представляетъ собою давленіе, передаваемое щитомъ на цапфы вала; другое  $\frac{T}{2}$  — растягивающее усиліе отъ ногъ рамы. Каждое изъ этихъ двухъ усилій даетъ изгибающій моментъ относительно срединнаго сѣченія вала. Моментъ силы  $T$  будетъ  $= \frac{Tl}{2}$  если черезъ  $l$  назовемъ длину между осью всей рамы и осью одной ноги съ принадлежащими къ ней частями; ось этого момента нормальна къ плоскости рамы.

Моментъ давленія щита  $= l' \times \frac{Q}{2}$ , гдѣ  $l'$  — разстояніе между осью рамы и серединой цапфы; ось этого момента совпадаетъ съ плоскостью щита.

Оси эти двухъ моментовъ, одна идущая по щиту, а другая по нормали къ рамѣ, составляютъ между собою уголъ равный  $90 - (\alpha + \gamma)$ , если черезъ  $\alpha$  обозначимъ уголъ между направлениемъ щита и вертикали, а черезъ  $\gamma$  — уголъ между направлениемъ рамы и вертикали. Построенный на этихъ осяхъ параллелограммъ, длина сторонъ котораго равна моментамъ отъ силъ  $\frac{T}{2}$  и  $\frac{Q}{2}$ , дастъ намъ слѣдующее выраженіе общаго момента

$$\sqrt{(l \cdot \frac{T}{2})^2 + (l' \cdot \frac{Q}{2})^2 + 2(l \cdot \frac{T}{2})(l' \cdot \frac{Q}{2}) \sin(\alpha + \gamma)}.$$

Остается только приравнять это выраженіе моменту сопротивленія вала  $= \frac{RI}{n}$ .

Если разсматриваемый валъ имѣетъ цилиндрическое образованіе съ радіусомъ  $r$ , то  $\frac{RI}{n} = \frac{R\pi r^3}{4}$  приравнявъ это выраженіе для момента, найдемъ значеніе  $r$ .

Примѣнимъ сказанное къ плотинѣ Post a l'Anglais, гдѣ  $H = 3,60$  м.,  $u = 0,40$  м.;  $L = 1,00$  м.,  $\alpha = 20^\circ$ ,  $\beta = 30^\circ$ ,  $\gamma = 5^\circ$ ,  $l = 0,20$  м.,  $l' = 0,30$  м., тогда

$$Q = \frac{1000}{3 \cos \alpha} \frac{H(H + 3u)}{L} = 6,149 \text{ klg.}$$

$$T = Q \frac{\cos(\alpha + \beta)}{3 \cos \alpha} = 2,398 \text{ kg; } S = 7,476 \text{ kg.}$$

$$\text{Моментъ отъ } \frac{Q}{2} = 3,075 \times 0,30 = 923$$

$$\text{Моментъ отъ } \frac{T}{2} = 1,199 \times 0,20 = 240$$

$$\text{Моментъ равнодѣйствующей} = \sqrt{923^2 + 240^2 + 2 \times 923 \times 240 \times \sin 25^\circ} = 963$$

или

$$\frac{R\pi r^3}{4} = 963.$$

Радіусъ вала этой плотины  $= 0,065$  м., слѣд.

$$R = \frac{963}{0,000215} \text{ или } 4,48 \text{ клгр. на 1 кв. милим. сѣченія.}$$

Срѣзывающее усиліе въ цапфахъ равное  $\frac{Q}{2} = 3,075$  клгр., отнесенное къ единицѣ круглаго сѣченія радіуса  $0,06$  м., даетъ напряженіе

$$\frac{3,075}{2,827} = 1,09 \text{ клгр.}$$

Нижніе подшипники рамы и ея клинья. На рр., Сенѣ, Лоннѣ и Саонѣ, цапфы нижней оси рамы входятъ въ подшипники, прикрѣпленные къ деревянному порогу (Табл. 11, фиг. 126, 129, 123). Подшипники эти, устроенные такъ же, какъ и въ фермахъ Поаре, могутъ



считаться вполне удобными. Для каждой рамы имѣется два симметрическихъ подшипника. Для установки рамы на мѣсто, при работѣ насухо или подъ водою, ее направляютъ такимъ образомъ, чтобы цапфы ея нижней оси попали между щекъ подшипника, затѣмъ при помощи лома ось эту или вѣрнѣе ея цапфы вдвигаютъ въ особое цилиндрическое углубленіе, находящееся у основанія указанныхъ щекъ, послѣ чего въ отверстіе между щекъ загоняють длинный деревянный клинъ. Клинъ этотъ въ тѣхъ частяхъ, къ которымъ прикасаются и на которыя нажимають ноги рамы при подыманіи щита, покрытъ листовымъ желѣзомъ; такимъ образомъ клинъ служитъ вмѣстѣ съ тѣмъ упоромъ для ногъ рамы, ставящимъ предѣлъ до котораго можетъ дойти рама при подыманіи щита. Чтобы убрать раму, достаточно вытаскать клинъ при помощи лома или другого приспособленія, если клинъ черезчуръ набухъ, и затѣмъ, передвинувъ цапфы къ упомянутымъ щекамъ, поднять раму вверхъ. Эта манипуляція производится безъ всякихъ затрудненій. Если клинъ не въ мѣру тонокъ и если ноги рамы къ нему не прилегають (при стоячемъ положеніи щита), то возможенъ такой случай, что подкосъ, влѣдствіе какого нибудь удара или другой причины, соскользнетъ съ уступа упорной коробки и щитъ можетъ повалиться. Во избѣжаніе этого рейку снабжають контрзапечками.

Съ другой стороны, если клинъ черезчуръ толстъ, подкосъ можетъ попасть на мѣсто при сильномъ нажатіи рамы на клинъ, что не только затрудняетъ подыманіе щита, но и его опусканіе, такъ какъ подкосъ въ этомъ случаѣ прижимается къ упорной подушкѣ реакціей сжатого рамою клина.

Весьма важно клинѣямъ придавать точные размѣры, такъ чтобы рама слегка только нажимала клинъ при стоячемъ положеніи щита, при чемъ не надо упускать изъ виду свойство дерева набухать въ водѣ. Можно бы, пожалуй, указать на одинъ недостатокъ описанныхъ подшипниковъ, а именно, что надлежащее ихъ укрѣпленіе требуетъ глубокихъ вырубковъ въ деревянномъ порогѣ, однако опытъ показалъ, что во всѣхъ вышепоименованныхъ плотинахъ пороги находятся въ исправности и обладаютъ вполне достаточной прочностью.

Щиты въ Port à l'Anglais имѣють значительный уклонъ, влѣдствіе чего необходимо было придать значительную ширину и той части флютбета, которая заключается между основаніемъ приподнятаго щита и осью нижнихъ подшипниковъ рамы. На плотинахъ предшествующихъ построекъ ширина этой части флютбета была только 0,40 м., здѣсь же она увеличена до 0,85 м., что повело за собою измѣненіе въ конструкціи порога, который не могъ быть уже устроенъ изъ одного бруса. Заодно измѣнили здѣсь и конструкцію подшипниковъ, устроивъ ихъ, какъ обыкновенно, на болтахъ (Табл. 7, фиг. 57, 58, 59), предполагая, что разборка такихъ подшипниковъ при помощи водлаза не представитъ особыхъ затрудненій, но весьма вѣроятно, что влѣдствіе ржавчины въ гайкахъ и болтахъ уборка рамы сопряжена будетъ съ немалыми хлопотами.

Клинѣя кажутся наиболѣе удобными приспособленіями для судоходныхъ отверстій, обыкновенные подшипники или просто хомуты могутъ примѣняться на водоспускныхъ отверстіяхъ, гдѣ флютбетъ выше меженіи и поэтому эти подшипники могутъ быть легче осматрѣны и въ случаѣ порчи починены (Табл. 9, фиг. 87). Такъ или иначе устройство подшипниковъ для водоспускныхъ отверстій требуетъ нѣкоторыхъ усовершенствованій.

$$\text{Усиліе, которому сопротивляется подшипникъ} = \frac{T}{2}.$$

По этому усилію нетрудно опредѣлить размѣры стѣнокъ чугуна и толщину крѣпительныхъ болтовъ. Полезно гайки болтовъ снабдить чеками, дабы онѣ не могли слѣть влѣдствіе терпѣваемыхъ рамою вибрацій. Изобрѣтеніе инженера *Lucas'a* (гайка съ подвижной чекой) весьма пригодно въ разсматриваемомъ случаѣ.

**Деревянный порогъ.** Для щитовъ высотой до 3-хъ метровъ употребляется деревянный порогъ выдѣланный изъ одного бревна и задѣланный въ кладку флютбета (Табл. 9, фиг. 78). Щитъ прилегаетъ къ верхней грани порога, а подшипники прикрѣпляются къ нижней его грани болтами. Такимъ образомъ вырывающее усиліе  $T$  или вѣрнѣе его вертикальная составляющая  $T \cos \gamma$  передается на порогъ. Усиліе это для щитовъ длин. 3,00 м и шириною 1,10 м, при уклонѣ только въ 8°, болѣе 2000 килгр. Для соответствующаго этому усилію укрѣпленія порога служатъ, такъ называемые якоря, количество которыхъ равно количеству щитовъ.

Якорь представляетъ собою желѣзный тяжъ или болтъ, проходящій сквозь порогъ и сквозь



облицовку кладки флютбета, на верхней оконечности тяжа (на пороге) имѣется гайка съ шайбой, а на нижней подъ облицовкой серьга или проушина, черезъ которую проходитъ желѣзная полоса длиною около 3,00 м., оканчивающаяся у ряда тесаныхъ камней, на которыхъ лежатъ упорныя коробки.

Эта первая серія якорей служить для того, чтобы связать порогъ съ облицовкой флютбета, на верхней оконечности тяжа (на пороге) имѣется гайка съ шайбой, а на нижней подъ облицовкой серьга или проушина, черезъ которую проходитъ желѣзная полоса длиною около 3,00 м., оканчивающаяся у ряда тесаныхъ камней, на которыхъ лежатъ упорныя коробки.

Эта первая серія якорей служить для того, чтобы связать порогъ съ облицовкой флютбета и предотвратить сдвигъ облицовочныхъ камней, по вырывающимъ или приподымающимъ порогъ усиліямъ она не препятствуетъ.

Такъ какъ мы не можемъ камнямъ облицовки придать такихъ размѣровъ, чтобы эти камни могли собственнымъ вѣсомъ, уменьшеннымъ вдобавокъ вѣсомъ вытѣсненной ими воды, сопротивляться поднимающимъ порогъ усиліямъ, то необходимо каждый облицовочный камень еще связать съ массивомъ флютбета. Эту роль исполняетъ другая серія якорей установленныхъ на мѣста до начала производства кладки флютбета. Каждый якорь этой серіи состоитъ тоже изъ желѣзнаго тяжа снабженнаго снизу чугуннымъ дискомъ діаметра 0,50 м., а сверху винтовой нарезкой. Верхняя оконечность тяжа проходитъ черезъ отверстіе, выдолбленное въ камняхъ облицовки или въ расширенный пазъ между отдѣльными камнями. Затѣмъ все концы тяжей соединяются прочнымъ полосовымъ желѣзомъ, уложеннымъ вдоль ряда облицовочныхъ камней и закрѣпляются гайками. Наконецъ, для большей прочности служатъ еще скобы, заѣдланныя въ камни облицовки въ промежуткахъ между якорями (Табл. 9, фиг. 78).

Для щитовъ высотой болѣе 3,00 м., и уклономъ болѣе 8°, порогъ не можетъ состоять изъ одного бруса. Существуетъ много различныхъ способовъ конструкціи порога болѣе значительныхъ размѣровъ; въ общемъ они близки къ вышеописанному, особенно въ смыслѣ расположенія связей и якорей. На Табл. 8 фиг. 72 показанъ способъ принятый на плотинѣ въ Port à l'Anglais.

Въ дѣйствительности на порогъ дѣйствуютъ, кромѣ усилія  $T$  еще и другія, стремящіяся сдвинуть порогъ съ мѣста. Во 1-хъ давленіе нижней части щита на верховую грань порога. Полное давленіе на щитъ, какъ уже извѣстно, выражается такъ:

$$\frac{1000}{2 \cos \alpha} H(H + 2u)$$

Составляющая этого давленія въ точкѣ вращенія щита, если ось вращенія расположена по срединѣ щита, выражается такъ:

$$\frac{1000}{3 \cos \alpha} H(H + 3u)$$

Составляющая давленія, нормальная по направленію щита въ точкѣ прикосновенія послѣдняго къ порогу будетъ равна разности этихъ двухъ силъ, т. е.

$$A = \frac{1000 H^2}{6 \cos \alpha}$$

Сила эта будетъ меньше, если ось вращенія щита будетъ расположена ниже середины щита.

При  $H = 3,60$  м. и  $\alpha = 20^\circ$  найдемъ, что  $A = 2299$  килгр. на погонный метръ ширины щита.

Это значительное усиліе стремится опрокинуть порогъ и для противодѣйствія этому недостаточно одной глубокой заѣлки порога въ облицовку флютбета, нужно еще укрѣпить его при помощи фасонныхъ желѣзныхъ скрѣпъ, показанныхъ на Табл. 7, фиг. 57 и Табл. 9, фиг. 78.

Во 2-хъ, при опусканіи щитовъ подъ давленіемъ воды верхняго бьефа развивается *центробѣжная сила, дѣйствующая на рамные подшипники*, а слѣдовательно и на порогъ. Значеніе этой силы непостоянно и находится въ зависимости отъ скорости вращенія рамы и стало быть отъ разности горизонтовъ во время опусканія щитовъ. Определить эту силу затруднительно, но



песомѣнно, что она достаточно значительна, и потому необходимо принять ее въ расчетъ и придать возможно большій запасъ прочности какъ рамнымъ подшпипникамъ, такъ и тѣмъ частямъ, которыя прикрѣпляютъ подшпипники къ порогу и къ кладкѣ флютбета.

Въ 3-хъ, наконецъ, необходимо замѣтить, что обыкновенно открываются не всѣ щиты сразу и что нѣкоторые изъ нихъ остаются въ стоячемъ положеніи въ то время, когда смежные съ ними уже уложены на флютбетъ. Въ этомъ случаѣ стоячіе щиты подвергаются сильному давленію воды, которое въ выведенныя выше формулы не входитъ.

Дерево—матеріалъ, который лучше всего соотвѣтствуетъ назначенію пороговъ: пороги при различныхъ манипуляціяхъ со щитами подвергаются ударамъ и тренію. При подобныхъ условіяхъ каменный порогъ пришелъ бы быстро въ разрушеніе, причемъ составныя части всей системы были бы скрѣплены менѣе солидно.

**Упорная подушка и направляющіе желобки.** Выше описаны были упорныя коробки только въ общихъ чертахъ. Вникнемъ теперь въ подробности.

На Табл. 9, фиг. 78 и 79 показаны чугуныя упорныя коробки и направляющіе подкосъ желобки, какіе были примѣнены къ дѣлу на плотинахъ верхней Сены, Жонпъ и Марны.

Упорная коробка состоитъ 1) изъ наклонной площадки трапецидальнаго вида, длин. 0,24 м. и съ противоположной стороны 0,09 м., окаймленной ребордами толщиной 0,03 и высотой 0,06 м. 2) Изъ лобной грани этой наклонной площадки (мѣста упора подкоса) высотой 0,10 метр. и шириною 0,12 м. одна сторона этой грани ограничена стѣнкой, составляющей продолженіе реборды наклонной площадки, но уклоняющихся отъ нея въ планѣ подъ угломъ въ 45°. 3) Изъ горизонтальной чугушной плиты окаймленной съ одной стороны ребордой, по другую же сторону расположена кулиса; послѣдняя снабжена ребордой высотой 0,06 м. Между наклонной ребордой кулисы впереди лобной грани находится плита длин. 0,44 м., доходящая вплоть до поперечнаго бруса, на которомъ укрѣплена рейка съ запечиками.

**Упорная подушка.** Упорная подушка для подкоса отливается изъ чугуна. Она состоитъ изъ прямоугольной плиты, окаймленной съ одной стороны ребордой высотой 0,06 м.; часть этой плиты занята наклонной площадкой трапецидальнаго вида длиною 0,845 м., размѣръ параллельныхъ сторонъ трапеціи 0,24 и 0,09 м.; площадка эта имѣетъ уклонъ къ низовой сторонѣ и вертикальный уступъ къ верховой; двѣ боковыя вертикальныя стѣнки, ограничивающія собою наклонную площадку, выступаютъ надъ ней въ видѣ ребордъ на высоту 0,06 метровъ толщина этихъ ребордъ 0,03 м. Къ одному изъ вертикальныхъ реберъ уступа примыкаетъ вертикальная стѣнка прямоугольнаго вида, представляющая собою какъ бы продолженіе боковой стѣнки наклонной площадки, но продолженіе дѣлающее съ направленіемъ это стѣнки уголъ въ 45°.

Уступъ наклонной площадки, указанная сейчасъ вертикальная прямоугольнаго вида стѣнка и прилегающая къ нимъ часть плиты образуютъ собою гнѣздо или коробку, гдѣ и помещается оконечность подкоса при стоячемъ положеніи щита.

Къ описанной упорной подушкѣ плотно прилегаетъ другая плита, болѣе узкая и очерченная въ планѣ съ одной стороны по кривой, касательной къ одной изъ сторонъ первой прямоугольной плиты. Эта сторона верхней плиты снабжена ребордой, составляющей продолженіе реборды первой плиты.

Часть первой плиты, незанятая наклонной площадкой и вся вторая плита, вмѣстѣ взятыя, составляютъ направляющій желобъ, по которому скользятъ оконечность подкоса при опусканіи щита. Полная длина направляющаго желоба 1,52 м., что соотвѣтствуетъ длинѣ подкоса. Уступъ наклонной площадки скошенъ подъ угломъ въ 3° по направленію къ желобу; ребро уступа закруглено.

Упорная подушка съ прилегающей къ ней плитой связаны въ одно цѣлое шипами и задѣланы въ цементъ въ кладку флютбета; для прочности задѣлки служатъ выступающія лапки и скобы.

Середина наклонной площадки и середина низовой оконечности желоба находятся въ плоскости, нормальной къ щиту и заключающей въ себѣ ось подкоса.

„Кулисой“ названа та часть коробки, по которой скользятъ подкосъ въ началѣ опусканія щита.



Посмотримъ теперь, что происходитъ при опусканіи и подыманіи щита.

Когда, при стоячемъ положеніи щита, заплечикъ рейки столкнетъ подкосъ съ уступа подушки по направленію скоса этого уступа, тогда подкосъ, потерявъ точку опоры, начинаетъ скользить вдоль желоба, направляемый ребордой послѣдняго, пока не ляжетъ на флютбетъ. Криволинейное очертаніе реборды таково, что подкосъ къ концу своего движенія будетъ находиться въ вертикальной плоскости, проходящей черезъ середину лобной грани или уступа коробки, и заключающей въ себѣ и ось щита.

И такъ, всѣ части приняли положеніе соответствующее тому, чтобы подыманіе щита могло произойти правильно. Для большей въ этомъ увѣренности можно въ днѣ подушки сдѣлать незначительное углубленіе, совпадающее съ означенной вертикальной плоскостью. При подыманіи щита подкосъ будетъ непременно слѣдовать по желобку подушки такъ какъ отклониться въ одну сторону ему препятствуетъ реборда подушки, а въ другую упомянутый нами выступъ на оси вращения подкоса. Подойдя къ наклонной площадкѣ подкосъ продолжаетъ двигаться далѣе между ея ребордами и наконецъ, соскочивъ съ лобной грани площадки, попадаетъ на свое мѣсто. Для того же, чтобы подкосъ при соскакиваніи съ лобной грани не перешелъ назначеннаго ему мѣста и не повредилъ при этомъ рейки съ заплечиками, что и наблюдалось на практикѣ, основанію гнѣзда подкоса придаютъ легкую покатость по направленію къ лобной грани. Такъ именно устроено въ Port à l'Anglais.

(Табл. 7, фиг. 57, 58, 59).

Чтобы уменьшить силу удара при паденіи подкоса съ лобной грани, этой послѣдней приданъ тоже легкій уклонъ. Стукъ, сопутствующій скольженію подкоса по лобной грани, служить для сторожа однимъ изъ признаковъ къ прекращенію подтягиванія щита.

Подшва гнѣзда подкоса должна имѣть тоже нѣкоторую покатость въ сторону желоба для того, чтобы облегчить заплечикамъ рейки сдвигъ подкоса къ желобку.

Называя какъ и выше, черезъ  $S$  усиліе, сжимающее подкосъ, и черезъ  $\beta$  уголъ подкоса съ вертикалью, увидимъ, что въ точкѣ прикосновенія подкоса къ коробкѣ усиліе это разложится на два: вертикальное  $S \cos \beta$ , уничтожающееся сопротивленіемъ флютбета, и горизонтальное  $S \sin \beta$ , стремящееся сдвинуть коробку съ мѣста. Расположеніе связей коробки съ кладкой должно соответствовать величинѣ этого усилія. При  $S = 7476$  клгр. и  $\beta = 53^\circ$  (данныя въ Port à l'Anglais),  $S \sin \beta = 5980$  клгр.

**Рейка съ заплечиками.** Сила тренія подкоса по поверхности лобной грани коробки была бы равна  $fS$ , если бы эта поверхность была нормальна къ оси подкоса. Но при скосѣ лобной грани на уголъ  $i$ , сила эта выразится такъ  $S(f \cos i - \sin i)$ .

Коэффициентъ  $f$  для желѣза по чугуну приблизительно равенъ 0,176, что соответствуетъ  $tg 10^\circ$ . Такимъ образомъ, предыдущее выраженіе приметъ такой видъ:

$$S(tg 10^\circ \cos i - \sin i) = S \left( \frac{\sin 10^\circ \cos i - \cos 10^\circ \sin i}{\cos 10^\circ} \right) = S \times \frac{\sin (10^\circ - i)}{\cos 10^\circ}.$$

Съ измѣненіемъ угла  $i$  отъ  $0^\circ$  до  $10^\circ$ , сила тренія будетъ получать значенія отъ 0,176  $S$  до 0. Для предупрежденія самовольнаго соскальзыванія подкоса съ лобной грани, вслѣдствіе случайныхъ толчковъ или сотрясеній, необходимо что сила тренія сохраняла сравнительно большое значеніе. Опыты, произведенные въ Conflans, показали, что  $4^\circ$  еще слишкомъ значительный скосъ грани и потому былъ принятъ уголъ въ  $3^\circ$ . При этомъ сила тренія =  $S \frac{\sin 7^\circ}{\cos 10^\circ} = S \times 0,124$ .

Кромѣ того, движеніе рейки между ея направляющими сопровождается тоже треніемъ, и если вѣсъ рейки  $P$ , то вся сила, потребная для того, чтобы столкнуть подкосъ перваго щита будетъ.

$$S \times 0,124 + P \times 0,176.$$

На эту собственно силу должна быть разсчитана лебедка. Но такъ какъ полезная работа послѣдней не болѣе  $80\%$ , то разсчетное усиліе будетъ  $= \frac{3}{4} (0,124 S + 0,176 P) = C$ .

Возможность осадковъ (ила и песку) на трущихся поверхностяхъ рейки вводитъ въ наше рѣшеніе извѣстную неопредѣленность. И потому, мы видимъ, какъ важно, чтобы установка упорныхъ коробокъ была произведена до неадантичности точно. Малѣйшая



небрежность въ этомъ отношеніи можетъ имѣть послѣдствіемъ то, что подкосъ не будетъ вовсе захваченъ рейкой или обратно, что онъ будетъ ею захваченъ, но, прежде чѣмъ соскочить на кулису, сильно ее надавить.

Малѣйшая неточность въ установкѣ упорной коробки какъ бы видоизмѣняетъ уголъ скоса лобной грани, а съ этимъ вмѣстѣ и усилие, необходимое для сдвига подкоса.

Здѣсь нужно соблюденіе абсолютной точности.

**Скручиваніе вала лебедки.** Пазывая черезъ  $C$  выведенное нами усилие, которое должны выдерживать зубцы рейки при сталкиваніи перваго щита, и черезъ  $m$  коэффициентъ полезнаго дѣйствія лебедки, т. е. отношеніе между силой ея и сопротивленіями, ею преодолеваемыми, получимъ для усилія  $F$ , которое должно быть приложено къ рукояткѣ лебедки, слѣдующее выраженіе  $F = \frac{C}{m}$ . Значеніе  $F$  можетъ измѣняться между нѣкоторыми предѣлами, но оно не должно быть болѣе 50 клгр. При расчетѣ можемъ принять для  $F$  значаніе, равное только 10 клгр., чтобы въ случаѣ надобности располагать возможно большими запасами силы.

Сама констукція лебедки при установленномъ значеніи для коэффициента  $m$  получаетъ второстепенное значеніе.

На Табл. 11, фиг. 138 показано расположеніе и констукція лебедокъ на судоходныхъ отверстіяхъ Верхней Сены и Лоппъ. Лебедка состоитъ изъ двухъ шестеренъ радіусомъ 0,06 м., одного зубчатого колеса радіусомъ 0,50 м. и рукоятки длин. тоже 0,50 м. При этихъ данныхъ коэффициентъ  $m = \frac{0,50 \times 0,50}{0,06 \times 0,06} = 69,4$ .

Въ Port à l'Anglais:  $S = 7476$  клгр., а  $P = 636$  клгр.

Слѣдовательно  $C = 1298,7$  клгр. и  $F = \frac{1298,7}{69,4} = 19$  клгр.

Предположимъ въ этомъ случаѣ такую же передачу, какъ и вышеописанная для Верхней Сены, и назовемъ черезъ.

$R$ —радіусъ большого зубчатого колеса на верхнемъ концѣ вала.

$r$ —радіусъ шестерни на нижнемъ концѣ этого вала.

$r'$ —радіусъ шестерни, зацѣпляющей большое колесо.

$R'$ —длину рукоятки.

Усиліе, передаваемое на окружность большого колеса  $F = \frac{R'}{r'}$ , слѣдовательно скручива-

ющій моментъ вала  $= \frac{F R R'}{r'} = M'$ , откуда слѣдуетъ что полная величина угла  $\varrho$  скручиванія

вала выразится такъ \*):  $\varrho = L \cdot \frac{2 F R R'}{r'} \cdot \frac{1}{\pi G (q^4 - q'^4)}$  гдѣ  $L$ —длина вала  $q$  и  $q'$ —наружный и внутренний радіусы вала, предполагая таковой полымъ,  $G$ —коэффициентъ упругаго скручиванія (прочное сопротивленіе на скручиваніе) для желѣза 6.000.000.000 килогр. на 1 кв. метръ поверхности.

Уголъ  $\varrho$  соотвѣтствуетъ величинѣ  $R\varrho$ —части окружности большого колеса, что въ свою очередь соотвѣтствуетъ величинѣ  $\varrho' = \frac{R}{r'} \varrho$  части окружности на верхней шестернѣ, что наконецъ въ свою очередь соотвѣтствуетъ дугѣ  $R'\varrho' = \frac{R R'}{r'} \varrho$  на рукояткѣ.

Такимъ образомъ  $D$  \*\*) величина упругаго свертыванія  $= R'\varrho' = \frac{R R'}{r'} \cdot \varrho$ , но  $\varrho = L \frac{2 F R R'}{r' \pi G (q^4 - q'^4)}$ ,

слѣд.  $D = L \times \frac{2}{\pi G (q^4 - q'^4)} \cdot F \left( \frac{R R'}{r'} \right)$  то есть, точка приложенія силы къ рукояткѣ лебедки успѣетъ совершить вѣдствіе скручиванія вала, путь  $D$ , прежде чѣмъ рейка начнетъ двигаться.

\*) См. Стр. мех. Проскуряковъ стр. 85;  $\varrho = \frac{2 M'}{\pi r^4 G} \cdot L$

\*\*) Проскуряковъ стр. 84.



Значеніе  $D$  можетъ быть выражено и иначе. Выраженіе  $\pi(q^4 - q'^4) = \pi(q^2 - q'^2)(q^2 + q'^2)$ .

Обозначая черезъ  $S$ —площадь сѣченія вала, получимъ  $D = L \frac{2F}{GS(q^2 + q'^2)} \cdot \left(\frac{RR'}{r}\right)^2$ .

Примѣнимъ эту формулу къ даннымъ Port à l'Anglais гдѣ  $L = 4,70$  м., расчетная величина для  $F = 19$  клгр. валъ не полый,  $q' = 0,03$  м. откуда  $q = 0,00282744$  кв. метр.;  $R = R' = 0,50$  м.,  $r' = 0,06$ , наконецъ  $G = 6.000.000.000$ . Вставивъ эти данныя въ выраженіе для  $D$ , получимъ  $D = 0,203$  м.

Такъ какъ величина свертыванія пропорціональна силѣ  $F$ , то, если почему либо къ рукояткѣ будетъ приложена сила вдвое напим. больше  $F$ , т. е. 38 клгр., то  $D$  будетъ  $= 0,406$  м., что соотвѣтствуетъ 0,13 одного оборота и т. д.

Валъ, скручиваясь, дѣйствуетъ какъ рессора, которая стремится сейчасъ же съ уменьшеніемъ силы сопротивленія возвратиться въ прежнее положеніе. Это обстоятельство можетъ причинить вредныя для механизма толчки и отдачи. Въ виду этого полый валъ слѣдуетъ предпочесть передъ цѣльнымъ при одинаковыхъ площадяхъ сѣченія, такъ какъ при поломъ валѣ, какъ это видно изъ вышесприведеннаго выраженія для  $D$ , величина свертыванія значительно уменьшается.

Самый длинный валъ примѣненъ на Саонской плотинѣ *Gigny*, тамъ  $L = 5,85$  м., наружный радіусъ полога вала  $= 0,05$  м., толщина стѣнокъ желѣза  $(q - q') = 0,01$  м., площадь сѣченія его  $S = \pi(q^2 - q'^2) = 0,003727$  кв. м. Конструкція лебедки иная, чѣмъ на Верхней Сенѣ, этотъ валъ самый длинный изъ всѣхъ, имѣющихся въ дѣйствиі до 1873 года.

Напряженіе желѣза при скручиваніи вала, взятое на разстояніи  $\xi$  отъ оси вала  $= G\omega\xi$ , гдѣ  $\omega$  — уголъ скручиванія на единицу длины вала можетъ быть выраженъ такъ  $\frac{\omega}{L}$ . Максимумъ напряженія  $R_1$ , которое будетъ при  $\xi = q$ , выразится такъ  $G \frac{\omega}{L} \cdot q$ .

Выше мы имѣли, что  $G \frac{\omega}{L} = \frac{2}{S(q^2 + q'^2)} M'$ , гдѣ  $M'$  — скручивающій моментъ дѣйствующаго на валъ усилія.

Усиліе  $R_1$ , отнесенное къ единицѣ площади (т. е. напряженіе) сѣченія вала будетъ  $= \frac{2q}{S(q^2 + q'^2)} \cdot M'$ .

Значенія  $q$  и  $q'$  должны быть такъ выбраны, чтобы  $R'$  не превосходило 6 клгр. на 1 кв. мил. сѣченія.

Для лебедокъ Верхней Сены согласно вышесказанному,  $M' = \frac{FRR'}{r'}$ , откуда  $R_1 = \frac{2}{Sq} \times \frac{FRR'}{r'}$ .

**Рукоятка.** Конструкція рукоятки, дѣйствующей на верхнюю шестерню, можетъ быть весьма разнообразна, на этомъ останавливаться не будемъ. Одна изъ такихъ рукоятокъ о 6-ти рычагахъ представлена на Табл. 10, фиг. 106 и 105. Противъ этого типа можно было бы возразить, что онъ допускаетъ возможность приложенія слишкомъ большого усилія на рычаги и поэтому при дѣйствиі ихъ требуетъ надзора. Само собою разумѣется, что никогда не слѣдуетъ стараться во что бы то ни стало преодолѣть лебедкою сопротивленіе рейки, если послѣднее почему-либо значительно превосходитъ расчетную его величину. Лучше всего въ подобномъ случаѣ щиты опустить при помощи багра, или приподнять только полотна щитовъ, а затѣмъ подвергнуть осмотру рейку и найти причину означеннаго чрезмѣрнаго ея сопротивленія.

Также слѣдуетъ внушить рабочимъ, чтобы они равномерно работали на рукояткахъ, дабы сила  $F$  сохраняла по возможности постоянное значеніе или по меньшей мѣрѣ быстро не мѣняла этого значенія.

Наконецъ, движеніе рейки должно быть въ должной степени медленное, дабы каждый подкось успѣлъ соскользнуть въ свою кулису и не могъ быть прижатъ къ ребордѣ кулисы, въ противномъ случаѣ движеніе рейки будетъ заторможено.

**Опредѣленіе силы тяги при подыманіи щита.** Расчетъ этой силы при желаніи найти для нея общее выраженіе представляетъ довольно сложную задачу. Вся движущаяся система,



понимая под этимъ словомъ, полотно щита, раму и подкосъ, представляет собою соединеніе многихъ частей, реакціи которыхъ, а равно дѣйствующія на нихъ усилія, происходящія отъ силы тяги и отъ силы теченія, весьма переменны и опредѣленіе дѣйствительнаго ихъ значенія иногда очень затруднительно.

*De Lagréné* сдѣлалъ попытку дать аналитическій ходъ разчета всей системы, но принужденъ былъ отказаться отъ своихъ выводовъ, предложивъ вмѣсто этого приблизительные разчеты, которые, однако по его мнѣнію, оказались тоже далеко несовершенными \*).

Предлагаемое же ниже рѣшеніе задачи напротивъ признается инженеромъ *de Lagréné* вполне удовлетворительнымъ.

Когда начинаютъ подъемъ щита, подтягивая канатъ, привязанный къ хомуту нижней части щита, ребро верхней части его прилегаетъ плотно къ подкосу, и это прилеганіе имѣетъ мѣсто въ теченіе нѣкотораго періода процесса подыманія.

Если рамные подшипники снабжены вышеописанными ушами, то при извѣстномъ положеніи подымаемаго щита, эти уши придутъ въ соприкосновеніе съ ногами рамы и съ этого момента начинается второй періодъ процесса подыманія.

Щитъ продолжаетъ подыматься. Если при этомъ блокъ, черезъ который проходитъ подъемный канатъ, расположенъ достаточно низко, то можетъ случиться, что полотно щита не будетъ ни прилегать къ подкосу, ни прикасаться къ рамѣ. Этотъ періодъ назовемъ третьимъ процессомъ подыманія. Но предположимъ, что разматриваемый щитъ не снабженъ ушами и что блокъ, черезъ который проходитъ подъемный канатъ расположенъ выше и такимъ именно образомъ, что подъемный канатъ сохраняетъ во все время подыманія щита уголъ въ  $45^\circ$  къ горизонту или около этого. При такомъ предположеніи второго и третьяго періодовъ процесса подыманія не будетъ вовсе, и щитъ, подымаясь, будетъ все время прилегать къ своему подкосу. Мы уже знаемъ, что уголъ, составляемый подкосомъ съ горизонталью, при стоячемъ положеніи щита равенъ  $38^\circ$ ; на плотинахъ въ Port à l'Anglais и на Саонѣ уголъ этотъ равенъ  $36^\circ$ . Если, какъ мы сказали, направленіе подъемнаго каната составляетъ съ горизонталью уголъ въ  $45^\circ$ , то очевидно, что верхняя часть щита все время будетъ прилегать къ подкосу.

Такимъ образомъ, мы можемъ разматривать полотно щита и подкосъ какъ нѣчто цѣлое. При этомъ мы можемъ себѣ представить, что полотно щита и подкосъ изображаютъ собою одну систему твердыхъ тѣлъ, двигающуюся въ той вертикальной плоскости, которая опредѣляется осями щита и подкоса, и что при этомъ каждая точка полотна щита описываетъ кругъ, а оконечность подкоса слѣдуетъ по прямой. При любомъ положеніи нашей системы будутъ въ дѣйствіи слѣдующія силы:

$T$  — Сила тяги лебедки, приложенная къ нижней части щита.

$F$  — давленіе теченія на заднюю сторону щита.

$F'$  — давленіе теченія на площадь основанія нижней части щита.

$F''$  — сила тренія теченія по обѣимъ поверхностямъ щита.

$P$  — вѣсъ (въ водѣ) полотна щита и часть вѣса рамы и подкоса.

$N$  — реакція отъ рамы на верхніе ея подшипники.

$N'$  — реакція кулисы на оконечность подкоса.

$fN'$  — скользящее треніе оконечности подкоса.

Допустимъ на время, что направленіе и значеніе силъ  $F$ ,  $F'$ ,  $F''$  и  $P$  намъ извѣстны — потомъ мы къ нимъ еще разъ возвратимся.

Если движеніе системы происходитъ равномерно, то всѣ дѣйствующія на щитъ силы должны быть въ равновѣсіи и слѣдовательно должны удовлетворять слѣдующимъ двумъ условіямъ: 1) сумма проекцій всѣхъ силъ на какія-бы ни было двѣ оси координатъ должна равняться нулю и 2) сумма моментовъ этихъ силъ относительно любой точки должна тоже равняться нулю.

Мы можемъ всегда такъ выбрать точку, относительно которой будемъ брать моменты силъ, чтобы моментъ силъ  $N$  и  $N'$  въ уравненіе моментовъ не вошли и чтобы такимъ образомъ неизвѣстной осталась лишь сила тяги.

\*) Общій аналитическій расчетъ Шаноана, сдѣланный *de Lagréné* помѣщенъ въ Annales d. P. et. C. за 2-й семестръ 1861 г., стр. 319.



Инженеръ *Гиршъ* предложилъ брать моменты относительно мгновеннаго центра (0) вращения системы, лежащаго въ точкѣ пересѣченія реакцій  $N$  и  $N'$ . Тогда, дѣйствительно, моменты силъ  $N$  и  $N'$  пропадутъ, но все-же останется моментъ силы  $fN'$ . Можно представить себѣ обѣ силы  $N$  и  $fN'$ , какъ слагающія нѣкоторой новой силы, которая составляетъ съ вертикалью уголъ  $\varphi$  — равный углу тренія подкоса по кулисъ. Если теперь мы возьмемъ моменты относительно точки 0 — пересѣченія этой новой равнодѣйствующей силы съ направлениемъ реакціи  $N'$ , то тогда моменты силъ  $N$ ,  $N'$  и  $fN'$  будутъ равны нулю и  $T$  можетъ быть опредѣлено изъ уравненія моментовъ.

Однако, несмотря на это значительное упрощеніе, аналитическій способъ рѣшенія задачи все-таки будетъ чрезмѣрно длиннымъ и сложнымъ. Гораздо быстрее можно придти къ желаемому результату, примѣнивъ здѣсь графическое построеніе моментовъ всѣхъ силъ относительно точки 0.

Теперь перейдемъ къ опредѣленію силъ  $F$ ,  $F'$ ,  $F''$  и  $P$ .

**Сила  $F$ .** Собственно говоря, нужно различать два случая: случай горизонтальнаго или почти горизонтальнаго направленія движенія отдѣльныхъ струй воды и случай перепада, когда это направленіе сильно уклоняется отъ горизонтальнаго.

Если разсматриваемая нами плотина хорошо устроена и если ею правильно управляютъ, т.-е. иначе говоря, если имѣется низкій и достаточно длинный водосливъ и если при подыманіи затворовъ полотна щитовъ остаются неопущенными на мѣсто, то нѣтъ никакой причины образованія перепада. Тѣмъ не менѣе предположимъ, что перепадъ существуетъ и максимумъ его 0,45 м., что соотвѣтствуетъ скорости теченія 3,00 м. Не будетъ большой натяжки, если мы и при этомъ условіи предположимъ, что направленія струй воды незначительно уклоняются отъ горизонтальнаго.

Во всякомъ случаѣ принятое условіе будетъ одно изъ самыхъ неблагоприятныхъ. Конечно, мы здѣсь не имѣемъ въ виду такихъ обстоятельствъ, какими сопровождается напр. случайное паденіе одного изъ щитовъ плотины при полномъ напорѣ. Тутъ приходится имѣть дѣло съ совершенно исключительными обстоятельствами, о чемъ мы и скажемъ въ своемъ мѣстѣ.

И такъ, пусть  $V$  — означаетъ скорость струй горизонтальнаго направленія,  $S$  — площадь задней стороны щита,  $\beta$  — уголъ, составляемый полотнами щита съ горизонтальною и равный углу подкоса съ горизонтальною согласно эпюры на Табл. 7, фиг. 71. Нормальное давленіе воды на заднюю поверхность щита выразится такъ

$$F = 1000KS \frac{V^2}{2g} \sin^2 \beta$$

гдѣ коэффициентъ  $K$  равенъ приблизительно 1,50.

Направленіе  $F$  проходитъ по серединѣ щита.

Не трудно замѣтить, что давленіе  $F$  на щитъ будетъ содѣйствовать подъему щита, сила тяги  $T$  будетъ наклонна къ горизонтали подъ большимъ угломъ, нежели щитъ, такъ какъ при этомъ условіи составляющая силы  $F$  по подъемному канату будетъ имѣть тоже направленіе, что и сила  $T$ .

По принятому предположенію, направленіе силы тяги съ горизонтальною 45°, уголъ же составляемый полотномъ щита съ горизонтальною менѣе 45°.

Изъ этого мы видимъ, какъ важно, чтобы уголъ направленія силы тяги съ горизонтальною былъ больше, чѣмъ уголъ щита съ горизонтальною, особенно въ случаѣ рѣкъ съ быстрымъ естественнымъ теченіемъ. Это теченіе не только не препятствуетъ поднятію щита, но, напротивъ, оно ему содѣйствуетъ. Наболѣе же неблагоприятнымъ случаемъ будетъ такой, при которомъ  $V = 0$ , но тогда и  $F = 0$ , иначе — силы  $F$  не надо принимать въ расчетъ.

Но для того, чтобы лучше уяснить ходъ графическаго построенія, сила  $F$  введена въ эпюру, показанную на Табл. 7, фиг. 71.

**Сила  $F'$ .** Называя черезъ  $S'$  площадь основанія щита, выраженіе для силы  $F'$  будетъ такое

$$F' = 1000KS' \frac{V^2}{2g} \cos^2 \beta.$$



Эта сила всегда противодействует силѣ тяги, а потому для  $V$  необходимо придать наибольшее значеніе, т.-е. 3,00 м.;  $F'$  — параллельна большимъ сторонамъ щита и проходить по серединѣ его толщины.

**Сила  $F''$ .** Трение воды по обѣимъ поверхностямъ щита выразится такъ:

$$F'' = 1000 \times 2K'SV^2$$

гдѣ  $K' = 0,004$ .

Сила эта тоже противодействуетъ силѣ тяги, а потому и здѣсь для  $V$  слѣдуетъ принять значеніе = 3,00 м.  $F''$  должна суммироваться съ силой  $F'$ .

**Сила  $P$ .** Вѣсъ  $P$  складывается изъ вѣса самого щита и изъ половины вѣса рамы и подкоса; точки приложенія послѣдняго вѣса — мѣсто, занимаемое подшпинниками или середина щита; тоже можемъ безъ особой натяжки предположить и для вѣса самого щита, хотя нижняя часть щита обыкновенно вѣситъ больше верхней.

Для судоходнаго пролета плотины въ Port à l'Anglais величина  $P$  получается слѣдующимъ образомъ:

Полотно щита — 0,592 куб. м. (для свѣдѣнія).

Два щитовыхъ подшпинника . . . . .	49	кгр.
Верхняя желѣзная дуга . . . . .	13	80
Нижняя „ „ . . . . .	14	30
Захватное кольцо . . . . .	6	
Три длинныхъ гориз. болта . . . . .	16	50
Противовѣсъ чугунный. . . . .	98	50
<hr/>		
Общій вѣсъ металл. частей полотна . . .	198	10 кгр.
Половина вѣса рамы $\frac{191}{2}$ . . . . .	95	50 кгр.
Половина вѣса подкоса $\frac{272}{2}$ . . . . .	136	— „
<hr/>		
Общій вѣсъ. . . . .	429	60 кгр.

Такъ какъ части эти теряютъ въ водѣ около  $\frac{1}{8}$  своего вѣса, то  $P = 376$  кгр.

Сложеніе силъ  $F$ ,  $F'$ ,  $F''$  и  $P$ , приложенныхъ къ центру щита производится легко при помощи построенія четырехугольника, четвертая сторона котораго представляетъ собою по величинѣ и по направленію равнодействующую  $R$  (Табл. 7, фиг. 71).

**Сила  $T$ .** Уравненіе моментовъ относительно точки  $O$ , на основаніи вышеизложеннаго, получаетъ слѣдующій упрощенный видъ

$$T \cdot AO = R \cdot BO.$$

Величины  $AO$  и  $BO$  опредѣляются изъ эюры, слѣдовательно  $T$  извѣстна.

Вторая часть этого уравненія  $R \times BO$  не зависитъ отъ угла, составляемаго направленіемъ  $T$  съ горизонталью, но, конечно, при томъ условіи, что уголъ этотъ больше угла между щитомъ и горизонталью, т.-е. при условіи прилеганія полотна къ подкосу. Минимумъ силы тяги будетъ при наибольшемъ значеніи для  $AO$ , т.-е. когда сила тяги будетъ направлена подъ прямымъ угломъ къ линіи  $AO$ , соединяющей точку  $O$  съ нижней гранью полотна. Такимъ образомъ эюра даетъ намъ наиболѣе выгодное направленіе силы тяги при различныхъ положеніяхъ поднимаемаго щита.

Въ самомъ началѣ процесса подыманія щита, точка  $O$  находится на поверхности флутбета въ  $C$ , и линія, соединяющая  $C$  съ нижней гранью полотна, составляетъ съ горизонтомъ уголъ около  $6^\circ$ . Эту величину угла даетъ эюра для затвора въ Port à l'Anglais (Табл. 7, фиг. 71). Такъ что наиболѣе выгоднымъ направленіемъ силы тяги при началѣ процесса подыманія будетъ не вертикальное, какъ объ этомъ думали нѣкоторые инженеры, а такое, которое составляетъ съ вертикалью  $6^\circ$  въ сторону къ низу.

Изъ этой же эюры видно, что когда рама приходитъ въ такое положеніе, при которомъ она составляетъ съ горизонталью  $40^\circ$ , тогда наиболѣе выгодное направленіе силы тяги дѣлаетъ съ вертикалью уголъ  $24^\circ$  по направленію къ верху.



Когда же рама, продолжая двигаться, составит съ горизонталью уголъ  $90^\circ$ , точка  $O$  уйдетъ въ бесконечность, линия, соединяющая низъ щита съ  $O$ , будетъ параллельна направлению рамы, а слѣдовательно направление наивыгоднѣйшей тяги составитъ съ горизонталью (вверхъ отъ нея) уголъ  $\varphi$ .

Уголъ тренія ( $\varphi$ ) приблиз.  $12^\circ$ ,  $Tg\varphi = 0,21$  что соответствуетъ коэффициенту тренія желѣза по чугуноу. По этому когда рама придетъ въ такое положеніе, при которомъ уголъ ея съ вертикалью будетъ равенъ  $12^\circ$ , наивыгоднѣйшее направленіе силы тяги будетъ перпендикулярно къ рамѣ, иначе составитъ съ горизонталью уголъ равный  $12^\circ$ .

Наконецъ, когда рама къ концу своего пути, пройдя черезъ вертикаль, составитъ съ послѣдней уголъ  $5^\circ$  (такъ устроенъ щитъ въ Port à l'Anglais), то наша эпюра дастъ намъ для направленія наивыгоднѣйшей тяги уголъ  $10^\circ$  отъ горизонтали внизъ.

Резюмируя все сказанное увидимъ, что при измѣненіи угла  $\alpha$  отъ  $0^\circ$  до  $95^\circ$ , уголъ направленія наивыгоднѣйшей силы тяги съ вертикалью мѣняется отъ минусъ  $6^\circ$  до плюсъ  $100^\circ$ . Стало быть, среднее значеніе послѣдняго угла и есть  $45^\circ$ , т.-е. выборъ слѣланъ удачно.

Расположеніе лебедки опредѣляется слѣдующимъ образомъ: на эпюрѣ вычерчиваютъ кривую, по которой двигается захватное кольцо низа щитового полотна при подыманіи послѣдняго; на кривой этой назначаютъ точку, соответствующую половинѣ кривой, т.-е. точку, соответствующую углу  $\alpha = 45^\circ$ ; отъ этой точки проводятъ линію подъ угломъ въ  $45^\circ$  къ горизонту. Эта линія и должна быть касательной къ барабану подъемной лебедки. Поль служебнаго мостика возвышается надъ уровнемъ нормальнаго подпора на 0,50 м.; высоту расположенія барабана надъ поломъ можно считать равной 0,60 м. приблизительно. Пользуясь этими данными не трудно опредѣлить положеніе самой лебедки, а слѣдовательно положеніе фермъ и служебнаго мостика.

Вѣроятно, можно бы было придумать такой механизмъ, при которомъ направленіе подъемнаго каната мѣнялось бы соответственно измѣненіямъ наивыгоднѣйшаго направленія силы тяги, но это повело бы къ бесполезнымъ усложненіямъ, такъ какъ и при сохраненіи для подъемнаго каната постояннаго угла въ  $45^\circ$  поднять щитъ легко.

Изъ предыдущаго видно, что подыманіе щитовъ при помощи лебедки, помѣщаемой на лодкѣ, происходитъ при менѣе благоприятныхъ условіяхъ. Въ самомъ дѣлѣ, достаточно, чтобы горизонтъ верхняго бьефа хотя немного повысился во время процесса подыманія щита, направленіе силы тяги составитъ съ горизонтомъ большій уголъ, между тѣмъ, какъ по ходу дѣла, углу этому слѣдовало бы уменьшаться. Необходимо добавить, что выгодное разстояніе лодки отъ щита въ началѣ подыманія щита дѣлается невыгоднымъ при завершеніи этой работы.

Это обстоятельство является новымъ доводомъ въ пользу устройства служебныхъ мостиковъ при щитахъ Шанона, какъ въ случаѣ судоходныхъ такъ и водоспускныхъ отверстій.

Построивъ эпюру различныхъ положеній подымаемаго щита и опредѣливъ соответствующія значенія силы тяги при направленіи этой послѣдней подъ угломъ въ  $45^\circ$  къ горизонту, выбираютъ наибольшее ея значеніе, которое будучи помножено на  $\frac{3}{4}$  (коэффициентъ полезнаго дѣйствія лебедки) дастъ намъ то усиліе, которое слѣдуетъ принять для расчета составныхъ частей лебедки. Максимумъ силы тяги при углѣ ея съ горизонтомъ въ  $45^\circ$  будетъ въ самомъ началѣ подъема щита, когда скорость теченія воды равна нулю. Если же направленіе тяги не постоянно, то этотъ максимумъ, какъ показываетъ эпюра, наступитъ нѣсколько позже.

Для плотины въ Port à l'Anglais максимумъ силы тяги принять равнымъ 3000 клгр. Цифра эта выше сопротивленій, сопровождающихъ подыманіе щита при обыкновенныхъ условіяхъ, но въ нѣкоторыхъ случаяхъ, о чемъ будетъ сказано ниже, потребная сила тяги можетъ возрасти до 6610 клгр. Фермы въ Port à l'Anglais могутъ временно сопротивляться этому усилію.

По этому поводу слѣдуетъ замѣтить, что весьма полезно было бы фермы служебнаго мостика прочно связать продольнымъ поперечнымъ настиломъ для того, чтобы онѣ работали вмѣстѣ. Это не имѣло бы значенія при системѣ Поаре со спицами, гдѣ давленіе распределяется равномерно по всей длинѣ плотины, но въ разсматриваемомъ случаѣ давленіе сосредоточено въ одной точкѣ.

**Подшипники со стопорами.** Вспомнимъ, что когда при подыманіи щита, рама придетъ въ надлежащее положеніе и подкосъ займетъ свое мѣсто у лобной грани коробки, намъ надлежитъ привести полотно щита, колеблющееся пока свободно на своей оси, въ стоячее положеніе. Опытъ показалъ, что въ случаѣ значительной разницы горизонтовъ въ обоихъ бьефахъ, не такъ то легко справиться съ этой задачей, такъ какъ теченіе воды сильно нажимаетъ заднюю сто-



**Сопротивленіе фермъ служебнаго мостика.** Вышеопредѣленный максимумъ силы тяги и направленіе его должны служить основными данными для расчета фермъ мостика. Ходъ расчета такой же, какъ и для фермъ Поаре. Проектируя фермы для служебнаго мостика было бы полезно рассчитать ихъ такимъ образомъ, чтобы онѣ могли въ случаѣ надобности служить и для поддержанія спицъ или щитовъ; надобность эта можетъ представиться, напримѣръ, при ремонтѣ плотины.

**Щиты водосливнаго отверстія и общія замѣчанія.** Все сказанное выше о расчетѣ щитовъ для судоходныхъ отверстій относится къ щитамъ для водоспускныхъ отверстій. Поэтому укажемъ здѣсь лишь нѣкоторые особенности, свойственныя послѣднимъ.

Главная особенность заключается въ томъ, что ось вращенія щита на водоспускныхъ отверстіяхъ должна быть установлена съ такимъ расчетомъ, чтобы полотно щита само собою опрокидывалось лишь только горизонтъ верхняго бьефа перевыситъ нормальный подпорный горизонтъ на впередъ заданную величину.

Прежде чѣмъ коснуться подробностей, укажемъ на одно весьма важное обстоятельство, вытекающее отъ примѣненія къ рассматриваемой системѣ затворовъ служебнаго мостика.

Въ предварительныхъ проектахъ плотинъ Верхней Сены и Юппы (1859 и 1860 г.г.) служебныхъ мостиковъ не было. Предполагалось, что щиты не только будутъ сами собою опрокидываться, когда слой переливающейся черезъ нихъ воды достигнетъ толщины 0,12—0,15 м., но что они будутъ сами собою возвращаться въ стоячее положеніе при пониженіи горизонта верхняго бьефа на 0,15 м. ниже нормальнаго. Точное изображеніе этихъ щитовъ воспроизведено на Табл. 9, фиг. отъ 82 до 104.

Расчеты однако не оправдались; опытъ показалъ, что щиты возвращаются въ стоячее положеніе лишь при пониженіи на 1 метръ горизонта воды въ верхнемъ бьефѣ. Примѣненіе цѣпей (Табл. 10, фиг. 114, 115 и Табл. 8, фиг. 73), закрѣпленныхъ однимъ концомъ во флютбетъ, а другимъ за нижнюю часть щита для ограниченія угла отклоненія полотна, дѣйствительно помогло тому, что щиты приходили въ надлежащее положеніе при вышеуказанномъ пониженіи уровня въ верхнемъ бьефѣ, но зато стало невозможнымъ полное открытіе отверстія плотины; да, кромѣ того, въ случаѣ разрыва причальной цѣпи, незакрѣпленный щитъ не приходилъ вмѣстѣ съ остальными въ стоячее положеніе, вѣдствие чего образовались опасные подмывы. Пришлось длину причальныхъ цѣпей измѣнять, сообразуясь съ расходомъ рѣки и въ высшей степени усложнить управленіе щитами; вѣдствие этого способъ зачаченныхъ щитовъ былъ признанъ неудобнымъ. Тогда у *de Lagréné* явилась мысль объ устройствѣ служебнаго мостика, что было и исполнено и что по мнѣнію *de Lagréné* стало съ того времени какъ бы обязательной принадлежностью системы Шаноана. Такимъ образомъ, возвратились къ первоначальной идеѣ инженера Шаноана, осуществленной имъ въ 1850 году въ Courbeton'ѣ (Табл. 8 фиг. 75, 76).

Съ введеніемъ служебнаго мостика сдѣлалось возможнымъ не заботиться о томъ, чтобы щиты опрокидывались сами собою: сторожъ плотины можетъ самъ по своему соображенію придавать щитамъ требуемое положеніе. Однако, все-таки, весьма цѣлесообразно такъ рассчитывать щиты, чтобы они могли опрокидываться сами собою при заданномъ повышеніи горизонта воды въ верхнемъ бьефѣ. Ограниченіе же угла отклоненія полотна можетъ быть достигнуто тоже цѣпью, одинъ конецъ которой закрѣпляется къ фермѣ, а другой къ верхней части щита. Тогда возможная небрежность сторожа или недостатокъ личнаго состава не будетъ имѣть вредныхъ послѣдствій.

Въ сущности весь расчетъ сводится къ опредѣленію того положенія, которое долженъ принять щитъ при его самоопрокидываніи. И такъ, установивъ, что закрытіе отверстія плотины не будетъ происходить само собою, мы достигнемъ значительныхъ упрощеній въ конструкціи щитовъ: подвижные противовѣсы могутъ быть упразднены, постоянные—вѣроятно тоже; удары и вредные толчки, сопряженные съ автоматическими измѣненіями положеній щитовыхъ полотенъ, не будутъ болѣе имѣть мѣста; наконецъ, всѣ манипуляціи, совершаемыя со служебнаго мостика, будутъ вполне безопасны для служащихъ при плотинѣ.

**Положеніе оси вращенія въ щитахъ для водоспускныхъ отверстій.** Выше на страницѣ 49 было выведено такое уравненіе:  $\Delta \cos \alpha = \frac{1}{3} \frac{H^2 (H + 3u) - h^3}{H (H + 2u) - h^2}$  въ которомъ



- $\Delta$ —означает длину нижней части щита.  
 $\Delta \cos \alpha$ —вертикальную проекцию этой части щита, которую далее будем означать через  $y$ .  
 $H$ —вертикальную проекцию всего щита.  
 $h$ —высоту горизонта воды в нижнем бьефе.  
 $u$ —минимальную толщину переливающегося через край щита слоя воды.

Если бы  $h$  была величиной постоянной и известной, мы могли бы задаться требуемым значением для  $u$  и величина  $y$  была бы определена. Но  $h$  может быть равно 0, что может произойти от различных причин, или от значительного возвышения порога плотины, или от уменьшения падения в нижнем бьефе, или, наконец, от искусственного понижения уровня этого бьефа. В то же время  $h$  возрастает при усиленном расходе воды из верхнего бьефа. Расход этот также подвержен изменениям не только от изменения расхода реки, но также от манипуляций с верховыми плотинами. Достаточно, например, чтобы несколько щитов было опущено, как сейчас же уровень воды за соседними щитами повышается.

Вообще говоря, тут, как и в случае щитов на судоходных отверстиях, предельные изменения горизонта нижнего бьефа не могут быть ни коим образом заранее установлены. Они определяются приблизительно из наблюдений.

Таким образом мы стоим перед неустранимой неопределенностью и *полное точное определение положения оси вращения для щитов водоспускных отверстий плотины в сущности не возможно.*

Для решения задачи остается однако руководствоваться данными изысканий, на основании которых и устанавливаются приблизительные значения как для толщины переливающегося слоя воды, так и для высот уровня воды в нижнем бьефе.

Такой постановке вопроса соответствует предлагаемый ниже ход расчета.

Мы придадим  $h$  значение не наибольшее из возможных, но значение меньше среднего. Затем мы определим положение оси вращения так, чтобы щит сам собою опрокидывался при среднем значении для  $u$ . Потом рассмотрим какое значение должно получать  $u$ , чтобы такой щит сам собою опрокидывался при предельных значениях для  $h$ . Значения, полученные для  $u$ , позволят нам придти к заключению, соответствует ли выбранное нами положение оси данным условиям или же ось должна быть переставлена в другое положение.

Пусть среднее выбираемое нами значение для  $h$  будет  $= y$ , т. е. мы берем случай, когда горизонт воды нижнего бьефа находится на уровне оси вращения щитов.

На плотинах Верхней Сены ось вращения щитов водоспускных отверстий расположена на 1,10 м. выше условной межи, при чем высота флютбета такова, что в большинстве случаев горизонт воды в нижнем бьефе достигает этого уровня, хотя иногда и подымается выше его, что имеет место непосредственно вслед за открытием водоспускного отверстия.

Далее предположим, что для того, чтобы щит сам собою мог опрокинуться при  $h = y$ , величина  $y$  должна быть  $= 0,10 H$ . Для Верхней Сены, где  $H = 1,98$  м.,  $y = 0,198$  м.

Наконец, пусть  $y = Hx$ , другими словами, пусть  $x$  представляет собою отношение между вертикальными проекциями длины нижней части щита и длины всего щита.

Тогда написанное выше уравнение примет такой вид  $3x = \frac{1,03 - x^2}{1,02 - x^2}$  или  $x^3 - 1,53 x + 0,512 = 0$ , откуда  $x = 0,369$  или  $0,370$ .

Полагая  $y = 0,37 H$ , найдем при  $H = 1,98$  м.  $y = 0,37 \times 1,98 = 0,7326$  м.

В действительности было принято  $= 0,70$ . (Табл. 9). Опыт показал, что действительно лучше было бы несколько приподнять ось вращения для того, чтобы щитам придать меньшую чувствительность.

При  $h = 0$ , получим  $3 \times 0,37 H = \frac{H + 3u}{H(H \times 2u)}$ , откуда  $u = 0,141 H$ , что соответствует максимальной толщине переливающегося через щиты слоя воды. При  $H = 1,98$  м.,  $u = 0,141 \times 1,98 = 0,279$  или  $= 0,28$  м. Это значение  $u$  может быть допущено для Верхней



Сены. Вспомнимъ, что при расчетѣ щитовъ судоходнаго отверстія въ Port à l'Anglais, мы предположили  $u = 0,40$  м., до какого предѣла по мѣстнымъ условіямъ  $u$  никогда не достигнетъ.

Придадимъ теперь  $h$  значеніе, соотвѣтствующее максимуму момента давленія (относительно оси вращенія) на верховую поверхность полотна; значеніе это будетъ при  $h = 2y = 0,74$   $H$  и наше уравненіе приметъ такой видъ  $3 \times 0,37 H = \frac{H^2(H + 3u) - 0,405224 H^3}{H(H + 2u) - 0,5476 H^2}$  откуда  $u = 0,118 H$  и при  $H = 1,98$ ,  $u = -0,23$  м.

Это значитъ, что если горизонтъ воды нижняго бьефа поднимется до удвоенной высоты оси вращенія надъ основаніемъ щита и когда при этомъ горизонтъ верхняго бьефа будетъ на 0,23 м. ниже верхняго ребра щита. тогда щитъ самъ собою опрокинется. По такъ какъ само основаніе щита расположено на 0,42 м. выше межени, то высота уровня воды въ нижнемъ бьефѣ, при которомъ должно произойти самоопрокидываніе щита будетъ  $0,42 \text{ м.} + 2 \times 0,73 = 1,88$  м. выше межени. Очевидно, что при такомъ состояніи горизонта рѣки нѣтъ никакого вреда, если спускное отверстіе само собою откроется. Высота горизонта въ верхнемъ бьефѣ въ этотъ моментъ будетъ на  $2,40 - 0,23 = 2,17$  м. надъ меженю, и величина перепада не превзойдетъ  $2,17 - 1,88 = 0,29$  метра.

Такимъ образомъ, предполагая, что порогъ данной водоспускной плотины расположенъ на 0,50 м. надъ меженю, что щитъ перекрываетъ собою порогъ на 0,08 м., предполагая, кромѣ того, что вертикальная проекція ( $H$ ) щита  $= 1,98$  м., каковыя данныя взяты съ плотинъ верхней Сены, увидимъ слѣдующее: если ось вращенія щита будетъ находиться нѣсколько выше  $\frac{1}{3}$  высоты щита, т. е. на  $\frac{0,37 H}{\cos \alpha}$ , то крайніе предѣлы толщины переливающегося слоя, соотвѣтствующіе самоопрокидыванію щита будутъ отъ  $-0,23$  м. до  $+0,28$  м., и что средняя толщина этого слоя будетъ около 0,198 метра.

Такое условіе самовращенія щитовъ вполне обезпечиваетъ исправность дѣйствія водоспуска на случай отсутствія сторожа или отвлеченія его для другого дѣла.

**Противовѣсы для щитовъ водоспускныхъ отверстій.** Въ предыдущихъ расчетахъ не было вовсе рѣчи о противовѣсахъ; предполагалось, что своевременное открытіе водоспускнаго отверстія будетъ совершаться безъ помощи послѣднихъ. Но въ предварительныхъ проектахъ Сенскихъ плотинъ (1860 г.) на противовѣсы возлагалось очень много надежды (Табл. 9, фиг. 85, 93).

Кромѣ постояннаго груза, прикрѣпленнаго къ основанію щита, выведенъ былъ еще подвижной грузъ (противовѣсъ), при посредствѣ котораго можно было увеличить вѣсъ или нижней, или верхней части щита.

Выше было сказано о томъ, что въ то время, когда производится подыманіе и установка щитовъ на судоходномъ отверстіи, щиты водоспускнаго отверстія должны быть открыты. Это-то и достигалось перемѣщеніемъ вверхъ по щиту подвижныхъ грузовъ; для приведенія же щитовъ въ стоячее положеніе, щитъ нажимали ногой, причемъ подвижной грузъ опускался внизъ, гдѣ его закрѣпляли при посредствѣ рычага. Такимъ образомъ, оба груза—подвижной и постоянный имѣли въ сущности одно и тоже назначеніе: они содѣйствовали тому, чтобы опрокинувшіеся при наводкѣ щиты, сейчасъ же при пониженіи горизонта въ верхнемъ бьефѣ приходили опять въ стоячее положеніе. Выше упоминалось уже о томъ, что возлагавшіяся надежды на роль подвижныхъ грузовъ не оправдались; необходимо было произвести нажатіе ногой на нижнюю часть щита; весь выигрышъ ограничивался лишь тѣмъ, что требующееся при нажатіи усиліе было меньше.

Роль подвижныхъ грузовъ съ полнымъ успѣхомъ могли бы исполнять вышеупомянутыя причальныя цѣпи, вслѣдствіе чего съ введеніемъ служебнаго мостика подвижные грузы могли бы быть упразднены. Что же касается постоянныхъ грузовъ, то хотя дѣйствительное значеніе ихъ выяснитъ довольно трудно, пока опытъ не сказалъ объ нихъ своего послѣдняго слова.

Общій вѣсъ грузовъ—постояннаго и подвижнаго на Сенскихъ плотинахъ равенъ 130 клгр. управленіе щитами со служебнаго мостика совершается легко. Этотъ фактъ можетъ служить данностью для опредѣленія вѣса грузовъ. Казалось бы однако, что съ этими грузами полезно было бы такъ устраниваться, чтобы вѣсъ ихъ можно было по желанію уменьшать или увеличивать.



Наклонъ щита для водоспускныхъ отверстій. Назовемъ черезъ  $\alpha$  уголъ, составляемый съ вертикалью (Табл. 17, фиг. 192).

На Верхней Сенѣ уголъ  $\alpha$  взятъ равнымъ  $10^\circ$ , но *de Lagréné* полагаетъ, что было бы правильнѣе принять для  $\alpha$  нѣсколько большее значеніе, и вотъ почему.

Во 1-хъ, направленіе тяги, идущей отъ служебнаго мостика къ нижней части щита, было бы ближе къ линіи нормальной къ полотну щита, а слѣдовательно, требовалась бы затрата меньшей силы при манипуляціяхъ со щитами.

Во 2-хъ, было бы достигнуто уменьшеніе усилій, стремящихся оторвать нижніе подшпунники отъ флютбета; прочность же скрѣпленія этихъ подшпунниковъ съ деревянными частями флютбета можетъ ослабѣть съ теченіемъ времени.

Въ 3-хъ, возможно было бы порогу, подверженному ударамъ щита, придать большую ширину.

Сдѣлавъ это замѣчаніе, примѣнимъ для разсматриваемаго случая тотъ же приѣмъ, что и для щита судоходныхъ отверстій.

Пренебрегая давленіемъ воды съ задней стороны щита, напишемъ выраженіе для момента силъ относительно точки  $A$ , дѣйствующихъ на переднюю часть щита при напорѣ  $H + u$

$$Q = \frac{1000}{6 \cos^2 \alpha} H^2 (H + 3u)$$

Но такъ какъ длина  $AO$  равна  $= \frac{0,37 H}{\cos \alpha}$ , то составляющая  $Q$  давленія въ точкѣ вращенія щита выразится такъ:

$$Q = \frac{1000}{2,22 \cos \alpha} (H + 3u)$$

Далѣе, составляющія по направленіямъ подкоса и по вертикальной рамѣ  $S$  и  $T$  будутъ

$$S = Q \frac{\cos \alpha}{\sin \beta} = \frac{1000}{2,22 \sin \beta} H (H + 3u)$$

$$T = Q \frac{\cos (\alpha + \beta)}{\sin \beta} = \frac{1000 \cos (\alpha + \beta)}{2,22 \cos \alpha \sin \beta} H (H + 3u)$$

Чтобы опредѣлить уголъ  $\beta$ , замѣтимъ, что основаніе  $BD$  треугольника  $BOD$  должно, какъ мы уже знаемъ, равняться  $BO$  — длинѣ рамы плюсъ 0,40 м.; послѣднее для помѣщенія рейки съ заплечиками, если таковая имѣется на лицо, и верхней части подкоса, которая при укладкѣ щита, проходитъ надъ упорной коробкой.

Такимъ образомъ

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{0,37 H + 0,40}{0,37 H}$$

При  $H = 1,98$  м., получимъ  $\operatorname{tg} \beta = 1,548$  или  $\beta = 58^\circ$ .

Изъ выраженія для силы  $T$  видно, что  $T = 0$  при  $\alpha + \beta = 90^\circ$ .

Но такимъ образомъ опредѣленное значеніе угла даетъ намъ длину щита

$$l = \frac{H}{\cos (90^\circ - \beta)} = \frac{H}{\sin 58^\circ} = \frac{1,98}{0,848} = 2,33 \text{ м.}$$

причемъ длина верхней части щита  $= 2,33 - 0,37 \times 2,33 = 1,47$  м. Величина, казалось бы неприемлемая.

Въ виду этого *de Lagréné* рекомендуетъ въ этомъ случаѣ такъ же какъ и при щитѣ судоходнаго отверстія для угла  $\alpha$  принять половинную величину угла соответствующаго  $T = 0$ , т. е.  $\alpha = \frac{1}{2} (90^\circ - \beta)$  или  $\alpha = \frac{1}{2} (90^\circ - 58^\circ) = 16^\circ$

$$\text{Тогда длина щита} \quad \frac{H}{\cos 16^\circ} = \frac{1,98}{0,96} = 2,06 \text{ м.}$$

и длина верхней части щита  $2,06 - 0,37 \times 2,06 = 1,30$ .



Вышеозначенныя значенія силъ  $T$  и  $S$  даютъ возможность опредѣлить размѣры составныхъ частей щита, какъ это было указано выше.

*De Lagréné* обращаетъ особенное вниманіе на то, чтобы подшивники рамы и другія части щита были подвергнуты испытанію послѣ ихъ установки на мѣста.

**Упраздненіе рейки съ заплечиками въ водоспускномъ отверстіи.** Проекты водоспускныхъ отверстій для плотинъ на Верхней Сенѣ были исполнены при предположеніи, что для укладки щитовъ будетъ примѣнена рейка съ заплечиками (Табл. 9, фиг. 93, 96, 101, 102, 103, 104). Однако съ теченіемъ времени все почти рейки были упразднены, такъ какъ опытъ показалъ, что очень легко управляться со щитами и безъ помощи этого приспособленія.

Выше было выяснено, какъ именно производятся эти манипуляціи, потому, съ введеніемъ служебныхъ мостковъ, онѣ еще болѣе упростились.

Представимъ себѣ, что полотна щитовъ Шаноана приподняты и свободно колеблются на своихъ осяхъ, при чемъ горизонты воды въ обоихъ бьефахъ стоятъ на одинаковомъ уровнѣ. Какъ при этомъ происходятъ манипуляціи со щитами? Сторожъ, подобравшись въ лодкѣ къ щитамъ съ низу, приподымаетъ багромъ конецъ подкоса, въ то время, какъ другой сторожъ подтягиваетъ лебедкою нижнюю часть щита, освобождая такимъ образомъ подкосъ изъ его упорнаго гнѣзда въ коробкѣ. Можно обойтись и безъ лодки, дѣйствуя на подкосъ непосредственно со служебнаго мостика особымъ изогнутымъ багромъ.

**Упраздненіе направляющихъ для подкосовъ водоспускнаго отверстія.** Описанный приемъ показываетъ, что можно обойтись и безъ направляющихъ желобковъ упорной коробки.

Дѣйствительно, на плотинахъ Верхней Сены входныя отверстія направляющихъ желобковъ коробки были вовсе забиты деревянными клиньями для того чтобы подкосъ не могъ произвольно соскользнуть въ направляющій желобокъ и не причинилъ несвоевременнаго паденія щита.

Это именно обстоятельство, положимъ сравнительно рѣдкое, и побудило къ введенію контрзаплекниковъ на рейкѣ при постройкѣ плотины въ Port à l'Anglais.

При постройкѣ новыхъ плотинъ полезно было бы, пожалуй, упразднить направляющіе желобки упорной коробки и придать послѣдней симметричную форму, укоротивъ переднюю и заднюю части коробки и ея расширяющійся направляющій желобокъ. Можно *à priori* предположить, что съ упраздненіемъ направляющихъ желобковъ, будетъ устранено мѣстное отложеніе наносовъ. Не нало однако забывать, что флютбетъ водоспускныхъ отверстій плотины возвышается надъ дномъ рѣки и что, какъ показалъ опытъ, при закрытіи входнаго отверстія желобка коробки деревянными клиньями, складыванія наносовъ не замѣчалось.

Было бы также полезно переднюю подошву упорнаго гнѣзда и коробки слегка приподнять дабы достигнуть болѣе надежнаго положенія подкоса при стоячемъ положеніи щита.

То же замѣчаніе сдѣлано было и относительно щитовъ судоходнаго отверстія.

Кромѣ того, съ упраздненіемъ направляющихъ желобковъ не понадобится упоминаемая выше слабость въ подшивникахъ подкоса.

*De Lagréné* приводитъ стоимость устройства погоннаго метра нѣкоторыхъ плотинъ системы Шаноана. (См. таблицу на стр. 76).

Мы нарочно привели эту таблицу имѣя въ виду показать, что стоимость устройства судоходныхъ отверстій больше чѣмъ вдвое превышаетъ стоимость водоспускныхъ отверстій и что поэтому устройство пониженнаго флютбета во всю ширину рѣки, какъ это принято у насъ, не выдерживаетъ критики. Правильнѣе всего длину судоходныхъ отверстій строго ограничивать потребностями судоходства и режимомъ данной рѣки, устраивая на остальной части рѣки водоспускное отверстіе съ повышеннымъ флютбетомъ. Придерживаться подобнаго правила для нашихъ рѣкъ тѣмъ болѣе цѣлесообразно, что наши рѣки не подвержены частымъ и большимъ паводкамъ и что меженный расходъ ихъ болѣе постояненъ чѣмъ на рѣкахъ Франціи. Къ тому же весенній расходъ на нашихъ рѣкахъ, превышая меженный расходъ въ 7—10 разъ, обыкновенно требуетъ устройства затопленныхъ быковъ и устоевъ, давая тѣмъ самымъ возможность изложеннаго рѣшенія задачи, обусловленной незначительными сравнительно колебаніями въ расходѣ меженныхъ водъ. И у насъ еще болѣе въ рѣзкомъ видѣ, чѣмъ во Франціи выступить разница въ стоимости устройства судоходныхъ и водоспускныхъ отверстій.

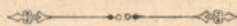


Плотины на Верхней Сентъ.

Название плотинъ и длина судоходныхъ (С) и водосп. (В) отверстій.	Стоимость въ франк. 1 пог. метра судоходнаго отверстія.			Стоимость въ франк. 1 пог. метра водоспускнаго отверстія.		
	Постоян. части.	Разборч. части.	Общее.	Постоян. части.	Разборч. части.	Общее.
Varennés . . . . . { C — 40.40 B — 60.30	2141	710	2851	793	343	1136
La Madeleine . . . . . { C — 40.40 B — 60.30	2005	710	2715	978	343	1321
Champagne . . . . . { C — 45.60 B — 60.30	2546	1107	3653	1264	626	1890
Samois . . . . . { C — 52.20 B — 60.30	2605	724	3329	713	340	1053
La Cave . . . . . { C — 45.60 B — 67.30	1913	919	2832	750	444	1194
Melun . . . . . { C — 65.10 B — 45.00	2548	958	3506	—	—	—
Les-Vives-Eaux. . . . . { C — 49.50 B — 64.50	3063	802	3866	953	278	1231
La Citanguette . . . . . { C — 49.50 B — 64.50	2281	690	2971	1494	371	1865
le Coudray . . . . . { C — 50.80 B — 70.10	2514	659	3174	1549	301	1850
Evry . . . . . { C — 50.80 B — 70.10	1730	682	2413	575	493	1068
Ablon . . . . . { C — 54.70 B — 70.10	2142	809	2934	1189	452	1641
Le Port-à-l'Anglais . . . . . { C — 54.70 B — 70.10	1862	727	2589	1160	222	1382
Средняя ширина судовъ отв. 50 метр. = 23½ саж. Средняя стоимость. . .	2279	791	3070	1038	383	1421



## О ПЛОТИНАХЪ ШАНОАНА ВЪ РОССИИ.



1. Бюллетени Управленія работъ по  
улучшенію судоходныхъ условій р. Оки.

2. Альбомъ фотографій Управленія  
В. В. П. и Ш. Д. — „На память объ освя-  
щеніи шлюзовъ и плотинъ на р. Окѣ  
19 октября 1914 г.“

3. Отчеты практиканта Императорскаго  
Моск. Инж. Училища В. К. Клемцъ.







### Плотины Шаноана на р. Окъ.

По одному изъ проектовъ улучшения судоходныхъ условий р. Оки предполагалось при-  
мѣнить щитовыя плотины системы Шаноана.

Не входя въ разсмотрѣніе всѣхъ проектовъ улучшения, необходимо указать лишь на  
ихъ существованіе и системы затворовъ отверстій проектированныхъ плотинъ.

Первый проектъ былъ составленъ инженеромъ Г. Ѳ. Бухгольцемъ при Московскомъ  
Округѣ Путей сообщенія въ 1902 г. Предположены были къ устройству двѣ плотины съ  
подпоромъ въ 0,65 саж., отверстіемъ въ 95 и 100 саж. при наибольшей скорости въ отвер-  
стіи плотинъ въ 0,66 саж./сек. разборчатая часть плотины проектирована въ видѣ желѣз-  
ныхъ фермъ системы Поаре по типу принятому на рѣкѣ Сенъ у расположенныхъ Suresnes, одна отъ  
другой въ разстояніи 1,25 метра; высота фермъ 5,79 метр., ширина по верху 1,50 м.,  
ширина по низу 3,9 м.; затворы—щиты *Буле* и щитки *Яницкаго*.

Второй проектъ составленъ инженеромъ А. С. Могучимъ въ 1905 г. послѣ новыхъ  
повѣрочныхъ изысканій; плотины предположены съ подпорами въ 0,97 саж. и 1,62 саж.; раз-  
борчатая часть проектирована той же системы Поаре, что и по первому проекту.

Третій проектъ составленъ инженеромъ С. А. Рейхманомъ въ 1909—1910 г.г.; под-  
поры для плотинъ выбраны въ 1,64 саж. и 1,67 саж. При выборѣ системы затворовъ отвер-  
стіи плотинъ были приняты къ руководству слѣдующія соображенія.

При разсмотрѣніи въ Техническомъ Совѣщаніи Управленія внутреннихъ водныхъ путей  
и шоссейныхъ дорогъ (журналъ № 50 отъ 2—9—16 июня 1907 г.) проекта фермъ Поаре,  
составленного инженеромъ Могучимъ, докладчикъ инженеръ Ф. І. Левадовскій, обращая вни-  
маніе Совѣщанія на принятую въ проектѣ систему затворовъ (щиты Буле), высказалъ слѣ-  
дующія соображенія.

При значительномъ количествѣ щитовъ (1146) на сборку и разборку плотины потре-  
буется слишкомъ много времени; такъ, напримѣръ, считая, что на подъемъ одного щита  
потребуется въ среднемъ около 5 минутъ, вынутіе однихъ лишь щитовъ займетъ не менѣе  
8 дней при 12 рабочихъ часахъ въ сутки. Въ виду такихъ эксплуатаціонныхъ неудобствъ,  
возникаетъ вопросъ, не слѣдовало ли бы измѣнить принятую систему затворовъ, а быть мо-  
жетъ и систему разборчатой части плотинъ.

Нельзя не признать всей важности этого замѣчанія. Поднятіе щитовъ Буле идетъ до-  
вольно медленно, даже при употребленіи вспомоgetельныхъ крановъ. Въ Сюренской плотинѣ  
на подъемъ одного щита требуется въ среднемъ отъ 5 до 6 минутъ, причемъ сложная ле-  
бедка только поднимаетъ щиты верхняго горизонтальнаго ряда до уровня воды, а идущій  
за ней кранъ убираетъ и укладываетъ на вагонетки. Такимъ образомъ открытіе Окской пло-  
тины длиною 100 саж. въ случаѣ паводка представитъ большія трудности; и хотя на р. Окѣ  
внезапные паводки очень рѣдки, но и обыкновенныя, небольшія прибыли воды доставятъ  
массу хлопотъ и работы, какъ по выниманію щитовъ, такъ и по уборкѣ ихъ на берегъ.  
Замѣна щитовъ Буле другой какой-либо системой затворовъ для плотины Поаре, почти не-  
возможна. Кромѣ этихъ щитовъ существуетъ еще три типа болѣе или менѣе практичныхъ  
затворовъ, это: шторы „Камере“, спицы Поаре и щитки Яницкаго, употребляемые на р.  
Москвѣ. Но ни одинъ изъ этихъ затворовъ въ данномъ случаѣ не примѣнимъ: шторы через-  
чуръ громоздки, дороги и обладаютъ важными недостатками, которые заставляютъ отказы-  
ваться отъ этой системы даже во Франціи; кромѣ того при нихъ необходимы и щиты Буле  
въ промежуткахъ между двумя шторами, такъ какъ висящія рядомъ шторы при маневрахъ  
часто зацѣпляются другъ за друга. Спицы не могутъ быть удобопримѣнимы влѣдствіе слиш-  
комъ большого напора. Что же касается щитковъ Яницкаго, то ихъ потребовалось бы  
болѣе 3200 штукъ; уборка и сортировка ихъ была бы очень затруднена, особенно при вы-  
ниманіи или закладываніи рядомъ на большой глубинѣ.



Если проектированные инженером Могучимъ щиты представляются неудобными при обыкновенныхъ паводкахъ, то еще съ большей очевидностью выступать недостатки самой системы Поаре при быстрыхъ и высокихъ паводкахъ, когда можно ожидать покрытія водой шлюзныхъ воротъ и необходимости пропуска судовъ черезъ плотину. Для этой цѣли придется не только вынуть, отвезти на берегъ и сложить на верхнюю незатопленную площадку всѣ щиты, но и положить на флютбетъ 150 фермъ. Все это займетъ очень много времени, такъ что при быстрой прибыли воды можетъ случиться приостановка судоходства, вследствие невозможности открытія плотины.

Выше было указано, что на р. Окѣ и небольшіе паводки доставятъ много хлопотъ по уборкѣ щитовъ. Дѣло въ томъ, что на Окскихъ плотинахъ придется регулировать подпорный уровень чаще и иначе, чѣмъ, напримѣръ, на плотинахъ р. Москвы. На послѣднихъ необходимо держать подпорный уровень на строго опредѣленной отмѣткѣ при всякомъ расходѣ воды, такъ какъ иначе суда не могутъ войти во входный каналъ, дно котораго расположено на 7 четвертей ниже подпорнаго уровня. Поэтому при небольшихъ паводкахъ дѣло регулировки сводится къ удержанію гребня переливающейся струи на установленномъ уровнѣ, что достигается съемкой или закладкой верхнихъ рядовъ щитковъ, которые, въ случаѣ непродолжительной прибыли воды не убираются на берегъ и остаются на мостикѣ.

По проекту же Окскихъ шлюзовъ, дно входныхъ каналовъ расположено на 6 четвертей аршина ниже меженного уровня воды въ рѣкѣ; слѣдовательно, на Окскихъ плотинахъ можно будетъ не считаться съ проектной отмѣткой подпорнаго уровня и координировать послѣдній съ расходомъ воды и съ ея уклономъ въ верхнемъ бьефѣ, т. е. по мѣрѣ прибыли воды въ рѣкѣ понижать подпоръ у плотины въ той мѣрѣ, какая необходима и достаточна для нормального судоходства. Иначе говоря, если вслѣдствіе прибыли воды, глубина въ рѣкѣ, на наиболѣе легкихъ мѣстахъ, достигнетъ достаточной величины (7, а впоследствии 11 четвертей), то подпоръ на плотинѣ не нуженъ и таковой можетъ быть спущенъ.

Таковой спускъ ненужнаго подпора или вообще держаніе его на уровнѣ крайнаго минимума—не только желательно, но и необходимо. Желательно потому, что этимъ будетъ достигнуто сокращеніе времени шлюзованія, а это, при огромныхъ размѣрахъ Окскихъ шлюзовъ, представляется существенно важнымъ. Необходимо же потому, что заблаговременное пониженіе подпорнаго уровня, во время хотя бы небольшой прибыли воды, подготовить плотину на случай надвигающагося болѣе значительнаго паводка и облегчить дальнѣйшіе маневры; если лишняго подпора не понижать, то увеличеніе паводка можетъ повлечь за собой подтопъ Окскихъ цѣнныхъ луговъ, владѣльцы которыхъ не замедлятъ предъявить претензіи къ казнѣ.

Такимъ образомъ, на Окскихъ плотинахъ должно происходить постоянное регулированіе подпора, въ зависимости отъ расхода и уклона воды на рѣкѣ и нельзя не признать, что система Поаре, при столь большомъ отверстіи (100 саж.) мало пригодна для этой цѣли.

Самымъ подходящимъ, при данныхъ условіяхъ, загражденіемъ слѣдуетъ признать плотину системъ Шаноана, съ улучшеніями, введенными Паско, которая обладаетъ недостающими системѣ Поаре качествами; именно въ ней нѣтъ требующихъ уборки частей, манипуляціи по спуску воды весьма просты и, наконецъ, укладка плотины на дно дѣлается очень быстро и легко.

Перечисленные качества системы Шаноана заставили американскихъ инженеровъ отдать ей преимущество передъ Поаре при шлюзованіи въ концѣ XIX столѣтія р.р. Огайо и Канава, такъ какъ въ системѣ Поаре ихъ пугали огромное при большой плотинѣ число щитовъ, подлежащихъ перевозкѣ и уборкѣ, а также возможные при сильныхъ паводкахъ задержки въ судоходствѣ.

Этотъ примѣръ даетъ полное основаніе къ примѣненію системы Шаноана для загражденія Оки. Правда, щиты Шаноана пропускаютъ весь расходъ черезъ щели между ними (7  $\frac{1}{2}$  до 10 см. шириной), что неудобно въ сухое время года; но этотъ недостатокъ можетъ быть устраненъ употребленіемъ, въ случаѣ надобности, спеціальныхъ реекъ или досокъ, закрывающихъ щели.

Однако, примѣненіе на рѣкѣ Окѣ щитовъ Шаноана встрѣчаетъ затрудненіе въ томъ, что при заданной глубинѣ флютбета на 0,50 саж. ниже меженного уровня, для поддержанія нужнаго подпора потребовались бы чересмѣрно высокіе щиты, а это затруднительно въ конструктивномъ отношеніи и даетъ меньшую гарантію устойчивости.



Такъ какъ нельзя отказаться отъ условія глубины воды 9,50 саж. на флютбетѣ при меженнемъ уровнѣ, то наилучшимъ рѣшеніемъ вопроса было бы загражденіе р. Оки по смѣшанной системѣ, именно, въ одной части плотиною Поаре (при глубинѣ флютбета 0,50 саж. ниже меженного уровня), въ остальной части приподнять флютбетъ на 0,20—0,30 саж. и примѣнить закрытіе щитами Шаноана. При такомъ устройствѣ плотины, соблюдается условіе заданной глубины на флютбетѣ и достигается облегченіе и ускореніе маневровъ въ смыслѣ пропуска паводковъ и судовъ.

Расположеніе повышеннаго флютбета на 0,30 и даже на 0,20 саж. ниже меженного уровня, гарантируетъ сохранность въ зимнее время щитовъ, которые не будутъ вмерзать въ ледяной покровъ рѣки.

Соотвѣтственное представленіе относительно примѣненія для загражденія р. Оки щитовъ Шаноана, было рассмотрѣно Инженернымъ Совѣтомъ, который, по утвержденному Министромъ Путей Сообщенія журналу отъ 19 мая 1910 года за № 49 положилъ:

1) Одобрить примѣненіе для разборчатыхъ частей Бѣлоомутской и Кузьминской плотинъ на р. Окѣ щитовъ системы Шаноана, съ допущеніемъ заложения флютбета, въ частяхъ плотинъ, закрываемыхъ названными щитами на уровнѣ 0,25 саж. ниже меженного горизонта.

2) Оставить въ флютбетахъ тѣхъ же плотинъ пониженную часть, шириною не менѣе 20 саж., въ судоходныхъ пролетахъ на горизонтѣ 0,50 саж. ниже меженного и съ загражденіемъ этихъ частей фермами системы Поаре.

3) Расположить между частями плотинъ, судоходною и водоспускною въ каждой изъ плотинъ каменный быкъ, неразрывно сопрягающійся съ флютбетомъ плотины и выведенный до устоевъ плотины.

4) Признать необходимымъ для управленія частями плотинъ, закрываемыми щитами Шаноана, заготовить у каждой плотины понтонъ, оборудованный надлежащими приспособленіями.

5) Представить Управленію Внутреннихъ Водныхъ Путей и Шоссейныхъ Дорогъ утвердить окончательно разработанные чертежи щитовъ Шаноана, фермъ Поаре и прочихъ деталей устройства плотинъ и шлюзовъ.

На основаніи приведенныхъ указаній и былъ составленъ этотъ проектъ съ двумя плотинами, описаніе которыхъ и расчетъ затворовъ ниже помѣщаются.

Плотина № 1 (близъ с. Бѣлоомута)—отверстіемъ  $20 + 74,79$  саж. расположена противъ верхней головы шлюза. По соображеніямъ, изложеннымъ въ иномъ мѣстѣ, плотина раздѣляется бычкомъ на двѣ части. Въ отверстіи шириною 20 саж., съ пониженнымъ флютбетомъ (порогъ на 0,50 саж. ниже меженныхъ водъ) примѣнены фермы Поаре, въ отверстіи же 74,79 съ повышеннымъ порогомъ (на 0,25 саж. ниже меженныхъ водъ)—щиты Шаноана.

Флютбетъ по всему протяженію для обоихъ типовъ затворовъ имѣетъ ширину одинаковую въ 6,50 саж. Толщина флютбета въ водобойной части имѣетъ 1,20 саж. и далѣе по сливной части идетъ уклономъ въ 1/10; понурный полъ тоже имѣетъ уклонъ 1/10. Фундаментъ состоитъ изъ слоевъ втрамбованнаго сухого щебня, толщиною въ 0,10 саж.; затѣмъ, бетоннаго слоя въ 0,50 саж.; наконецъ, бутовой кладки толщиною въ 0,60 саж., считая вмѣстѣ съ наружной облицовкой. Весь фундаментъ выведенъ въ котлованѣ, огражденномъ шпунтовыми стѣнами изъ 4-хвершковыхъ брусевъ, забитыхъ на 1 саж. ниже подошвы бетона. По краямъ флютбета сверху и снизу положенъ кордонный рядъ камней, съченіемъ  $0,20 \times 0,20$  изъ песчаника или гранита, камни взаимно связаны скобами. Порогъ, въ который задѣлывается передній подшиппникъ съ анкеромъ, состоитъ изъ двухъ рядовъ гранитныхъ камней. Задніе подшиппники лежатъ на рядѣ штучныхъ гранитныхъ камней, размѣромъ  $0,3 \times 0,3 \times 0,20$ . Остальная поверхность флютбета выстилается мелкой облицовкой изъ песчаника (или гранита), толщиною 0,10 саж.

Флютбетъ плотины Шаноана имѣетъ ширину, одинаковую съ плотиною Поарэ.

Верхняя площадка плотины, какъ и въ головахъ шлюза на 0,30 саж. выше подпорнаго горизонта, т. е. имѣетъ отмѣтку въ 43,20. Конуса сопрягающихъ дамбъ у крыльевъ устоевъ имѣютъ полуторный откосъ, подошва, ихъ отодвинута на 0,50 отъ передней стѣнки устоя, а верхъ закрываетъ крылья устоевъ на 0,20 саж. Толщина стѣнокъ устоевъ въ основаніи



принята приблизительно 0,6 саж. она утоняется кверху уступами и повёрнута расчётом на устойчивость.

Верхняя площадка устоя имѣетъ ширину 1 саж. Ширина устоевъ 5,70 саж.

Всѣ видимыя поверхности устоевъ облицованы песчаникомъ. Угловые камни имѣютъ высоту около 0,30 саж. и доходятъ до верхняго кордона. Облицовка между углами, по лицу угловъ и по крыльямъ, высотой около 0,15 саж. По верхнему периметру устоевъ положенъ кордонный рядъ изъ камней, сѣченіемъ  $0,2 \times 0,3$ —камни взаимно скрѣплены скобами. Площадка покрыта лещадною плитою, толщиной около 0,08 саж.

Быкъ имѣетъ одинаковую высоту съ устоями плотины. Ширина его 2,85 и длина 4,20. Для помѣщенія фермъ Поаре устраивается ниша  $1,80 \times 2,25$  саж. перекрытая бетоннымъ сводомъ.

Дно рѣки позади флютбета укрѣпляется каменною рисбермою, шириною 8 саж. Верхняя поверхность рисбермы горизонтальна и доведена до отмѣтки нижней грани флютбетовъ. Для удержанія камней въ рисбермѣ забиты въ шахматномъ порядкѣ черезъ одну сажень 5-ти вершковые сваи, 1,30 саж. Нижній край рисбермы оканчивается сплошнымъ рядомъ такихъ же свай. Ядро рисбермы состоитъ изъ накидного камня съ расщепенкою; верхняя поверхность выложена изъ приколотаго крупнаго камня безъ расщепки.

Впереди флютбета укладывается призма шириною по верху 0,40 саж.; она состоитъ изъ накидного камня съ расщепенкою и съ приколкою верхняго ряда.

Сопрягающія дамбы имѣютъ по верху ширину 8 саж. съ откосами, внизъ по теченію—тройными, спереди—двойными. Конуса откосовъ и бровка на ширину одной сажени укрѣплены двойною мостовою въ клѣткахъ, площадка—двойною мостовою. Двойная мостовая внизу откосовъ упирается въ каменную призму съ площадкою по верху 0,30 саж. Лѣвый берегъ рѣки на протяженіи отъ начала верхняго канала до сопрягающей дамбы и на 10 саж. ниже дамбы планируется и укрѣпляется до горизонта устоевъ двойнымъ мощеніемъ въ клѣткахъ. Основаніемъ мощенія служитъ каменная призма.

Отъ плотины Поаре, расположенной у лѣваго берега, идетъ рельсовый путь, который уклономъ  $1/20$  поднимается на лѣвый берегъ рѣки, на насыпанную незатопляемую площадку. На послѣдней расположены два сарая для шандорныхъ щитовъ и для крана и вагонетокъ. Насыпь подъ рельсовый путь, шириною по верху 2,00 саж. съ полуторными откосами укрѣпляется по всей поверхности одиночнымъ мощеніемъ.

Плотина № 2 (у с. Кузьминскаго). Отверстіе плотины закрывается щитами Шаноана, имѣетъ ширину 79,95 саж. въ остальномъ плотина сходна съ № 1. Плотина предполагается противъ верхней головы шлюза.

Флютбетъ во всемъ одинаковъ по размѣрамъ и конструкціи съ флютбетомъ шлюза № 1, только постель флютбета для щитовъ Шаноана на длинѣ 22 саж. отъ перваго устоя повышается на 0,40 саж. вслѣдствіе залеганія въ этомъ мѣстѣ плотной глины.

Конструкція устоевъ и быка такая же, что и въ плотинѣ № 1. Быкъ имѣетъ въ планѣ размѣры  $4,29 \times 2,75$ .

Конструкція дамбъ сходна съ дамбами плотины № 1.

Рельсовый путь отъ лѣваго устоя идетъ по сопрягающей дамбѣ горизонтально и, затѣмъ, пролегаетъ по насыпному полотну шириною 2 саж. подъ полуторными откосами, уклономъ въ  $1/20$ , на затопляемую насыпную площадку, гдѣ расположены два сарая для щитовъ и крана съ вагонетками. Полотно рельсоваго пути на откосахъ площадки укрѣпляется одиночнымъ мощеніемъ.

Четвертый проектъ составленъ инженеромъ Н. П. Пузыревскимъ въ 1910—1911 г.г., который и приведенъ въ исполненіе.

По этому проекту послѣ новыхъ повѣрочныхъ расчётовъ и неоднократныхъ обсужденій<sup>1)</sup> рѣшено вернуться къ затворамъ отверстій плотинъ по системѣ Поаре но съ фермами типа, примѣненнаго на р. С. Донцѣ<sup>2)</sup>, и американскаго проектированнаго для р. Оки инженеромъ Пузыревскимъ.

<sup>1)</sup> См. Бюллетень № 2 Управленія работъ по улучшенію судоходныхъ условій р. Оки. СПб. 1911.

<sup>2)</sup> Н. Д. Тяпкинъ Водоподъемныя плотины на рѣкахъ. Москва 1909. г.



19-го октября 1914 г. состоялось освященіе шлюзовъ и плотинъ на р. Окѣ. Нижеслѣдующія окончательныя данныя приведены въ изданномъ ко дню освященія альбомѣ Управленія В. В. П. и Ш. Д.

На участкѣ р. Оки между устьемъ р. Москвы и г. Рязанью построены двѣ разборчатая плотины системы Поаре со шлюзами при нихъ.

Плотина № 1 (у села Бѣлоомута), на 49-ой верстѣ отъ устья рѣки Москвы, имѣетъ отверстіе 88 сажень и проектный подпоръ до 1,67 саж.

Плотина № 2 (у села Кузьминскаго), на 93-ей верстѣ отъ устья рѣки Москвы, имѣетъ отверстіе 94 сажени и проектный подпоръ до 1,90 саж.

Флютбеты плотинъ бетонныя, въ большей части на свайномъ основаніи, и облицованы песчанникомъ и гранитомъ. Устой изъ бутовой кладки, облицованной песчанникомъ.

Шлюзъ № 1 расположенъ въ дереваціонномъ каналѣ на лѣвомъ берегу рѣки. Шлюзъ № 2 расположенъ въ рѣкѣ подъ правымъ берегомъ. Длина шлюзной камеры—125 саж. Ширина въ свѣту (въ головахъ и по дну камеръ)—8,00 саж. Стѣны камеръ изъ желѣзо-бетона. Головы изъ бутовой кладки, облицованной песчанникомъ и гранитомъ. Ворота желѣзные двухстворныя. Водопроводныя галлерей въ головахъ закрываются щитами Стоenea.

Строительныя работы начаты въ маѣ 1911 года и закончены на соор. № 2 въ октябрѣ 1913 года и на соор. № 1—въ сентябрѣ 1914 года. Стоимость постройки обоихъ сооружений, не считая отчужденія прибрежныхъ земель, составляетъ около 2.400.000 рублей.

На перекатъ „Каменка“, между г.г. Касимовымъ и Елатьмой, специальной камнечерпательницей „1-ой“ исполненъ каналъ шириною 40 саж., длиною 425 саж. глубиною не менѣе 9 четв. аршина при средне-низкомъ уровнѣ воды и не менѣе 7½ четв. арш. при самыхъ низкихъ уровняхъ. Работы начаты въ сентябрѣ 1913 года и закончены въ сентябрѣ 1914 года. Стоимость работъ—70.800 рублей.



Разсчеты <sup>1)</sup> щитовъ Шаноана для двухъ плотинъ по проекту шлюзованію р. Оки,  
составленному инженеромъ С. А. Рейхманомъ.

СООРУЖЕНІЕ № 1.

§ 1 Данные для разсчета.

Подпорный горизонтъ верхняго бьефа . . . . .	42,90 с.
Горизонтъ нижняго бьефа . . . . .	41,55 "
Отмѣтка порога плотины . . . . .	41,01 "

Высота подпорнаго горизонта надъ порогомъ:

$$H_1 = 42,90 - 41,01 = 1,89 \text{ саж.} = 4,032 \text{ метра.}$$

Уголъ наклона щита къ вертикали принять  $\alpha = 20^\circ$ .  
какъ обыкновенно примѣняется для щитовъ большой высоты (См. de Mas и Thomas and Watt).

Уголъ наклона рамы къ вертикали принять:  $\beta = 10^\circ$  по направленію теченія рѣки. Величина эта принята, исходя изъ соображенія, чтобы при установкѣ щита онъ не могъ опрокинуться впередъ (См. Thomas and Watt).

$$\text{Длина подкоса . . . . . } L = 3,95 \text{ м.}$$

$$\text{Ширина щита . . . . . } b = 1,30 \text{ „}$$

$$\text{Высота щита . . . . (см. Табл. 13, фиг. 170) } H = 4,032 \cdot \sec 20^\circ - 0,257 \cdot \tan 20^\circ = 0,103 = 4,30 \text{ м.}$$

$$\text{Длина рамы . . . . . } l = 2,28 \text{ м.}$$

Расстояніе оси вращенія щита отъ низа его принято равнымъ половинѣ его высоты. Это сдѣлано для того, что бы щитъ не могъ ни въ какомъ случаѣ автоматически открыться (См. Lagrené).

Зазоръ между щитами принять равнымъ 7,5 м.

Уголъ составляемый подкосомъ съ вертикалью опредѣлится такъ: (См. Табл. 16, фиг. 171)

$$\cos \eta = \frac{EI}{EN} = \frac{0,52 + (2,15 + 0,103) \cos 28^\circ}{3,95} = \frac{0,52 + 1,924}{3,95}.$$

$$\text{Откуда: } \eta = 51^\circ 47'; EX = 2,28; \cos 10^\circ = 2,245; ZX = 2,245 - 1,924 = 0,321 = 0,15 \text{ саж.}$$

$$\gamma = 90^\circ - \alpha - \eta = 90^\circ - 20^\circ - 51^\circ 47' = 18^\circ 13'; UN = 2,28 \sin 10^\circ + 3,95 \sin 51^\circ 47' = 3,40 \text{ м.}$$

§ 2. Допускаемыя напряженія.

1) Для желѣза и стали.

a) Основное допускаемое напряженіе на растяженіе:  $R_1 = 750 \text{ кл./см.}^2$ .

b) На сжатіе по формулѣ Навье  $R_2 = \varphi R_1$  гдѣ  $\varphi = \frac{1}{1 + 0,00008 \frac{\omega l^2}{I}}$ .

c) На срѣзываніе  $R_3 = 0,8 R_1 = 600 \text{ кл./см.}^2$ .

d) На сжатіе  $R_4 = 2 R_1 = 1500 \text{ кл./см.}^2$ .

e) На смятіе въ осяхъ, считая на діаметральную плоскость:  $R_5 = 250 \text{ кл./см.}^2$ .

2) Для чугуна.

a) На изгибъ 250 кл./см.<sup>2</sup>. b) На скалываніе 200 кл./см.<sup>2</sup>. c) На раздробленіе 750 кл./см.<sup>2</sup>.

3) Для камня на раздробленіе 8 кл./см.<sup>2</sup>.

4) Для дерева на смятіе поперекъ волоконъ 20 кл./см.<sup>2</sup>.

<sup>1)</sup> Разсчеты щитовъ произведены практикантомъ Императорскаго Московскаго Инженернаго Училища В. К. Клемцъ.



### § 3. Давленіе воды на щитъ и усилія въ элементахъ.

При расчетѣ усилій въ элементахъ плотины сдѣланы слѣдующія предположенія 1) съ низовой стороны щита воды нѣтъ вовсе, 2) со стороны верхняго бьефа черезъ щитъ переливается вода слоемъ  $1\frac{1}{2}' = 0,45$  м. Такое переливаніе можетъ имѣть мѣсто при паводкахъ, что же касается до давленія со стороны нижняго бьефа, то въ виду его незначительности имъ можно пренебречь, такъ какъ отъ этого увеличится только запасъ прочности сооруженія.

I. Полное давленіе воды на щитъ выразится площадью трапеціи  $ABCD$ , умноженной на ширину щита и на вѣсъ кубическаго метра воды (см. Табл. 16, фиг. 171).

$$P = \frac{0,45 + 4,49}{2} \times 4,30 \times 1,30 \times 1000 = 13807 \text{ кл.}$$

Плечо  $k$  этого давленія относительно точки  $C$  опредѣлимъ, какъ разстояніе центра тяжести трапеціи отъ ея основанія  $CD$ :

$$k = \frac{4,49 + 2 \times 0,45}{4,49 + 0,45} \cdot \frac{4,30}{3} = 1,564 \text{ м.}$$

II. Реакцію  $Q$  въ точкѣ  $E$  опредѣлимъ, дѣля моментъ давленія воды относительно точки  $C$  на длину  $CE$ :

$$Q = \frac{Pk}{\frac{1}{2}H} = \frac{13807 \times 1,564}{\frac{1}{2} \times 4,30} = 10043 \text{ кл.}$$

III. Реакція въ точкѣ  $C$  равна:

$$C = P - Q = 13807 - 10043 = 3764 \text{ кл.}$$

IV. Усиліе подкоса  $S$  опредѣлимъ изъ  $\triangle$  — ка  $EFM$ :

$$\frac{EF}{\sin \angle EMF} = \frac{EM}{\sin \angle EFM}; \text{ но } EF = Q \text{ и } EM = S$$

далѣе:

$$\angle EMF = \eta + 10^\circ = 10^\circ + 51^\circ 47' = 61^\circ 47'$$

$$\angle EFM = 100^\circ : \gamma = 18^\circ 13'$$

Подставивъ получимъ:

$$S = \frac{Q \cdot \sin 100^\circ}{\sin 61^\circ 47'} = \frac{10043 \cdot \cos 10^\circ}{\sin 61^\circ 47'} = 11224 \text{ кл.}$$

V. Усиліе рамы  $T$  опредѣлится изъ того же  $\triangle$  — ка  $EFM$ :

$$T = \frac{Q \cdot \sin 18^\circ 13'}{\sin 18^\circ 47'} = \frac{10043 \cdot \sin 18^\circ 13'}{\sin 61^\circ 47'} = 3563 \text{ кл.}$$

### § 4. Подборъ сѣченій.

I. Подкосъ.

Подкосу дано круглое сѣченіе діаметромъ  $d = 85 \text{ см}$  въ верхней его части на длинѣ 1,70 м. Въ нижней части подкосъ плавно уширяется до 0,22 м. по кривой радіуса  $r = 7,00$  м. и послѣ снова сужаясь доходитъ до 85 см. Уширеніе это сдѣлано для приданія большаго вѣса, а слѣдовательно и устойчивости подкосу, подвергающемуся удару воды.

Допускаемое напряженіе на сжатіе опредѣлимъ по формулѣ Навье, считая, что сѣченіе подкоса постоянно:

$$R = \frac{750}{1 + 0,00008 \frac{395^2 \cdot 16}{8,5^2}} = 199,2 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2}$$

Въ дѣйствительности напряженіе будетъ:

$$n = \frac{11224}{\frac{\pi}{4} \frac{8,5^2}{4}} = 197,8 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 199,2.$$

Нижній конецъ подкоса работаетъ на смятіе; напряженіе въ немъ:

$$n = \frac{11224}{8,5^2} = 155,3 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 250 < 1500.$$



II. Рама. (Табл. 16, фиг. 172).

На раму дѣйствуетъ растягивающее усилие равное  $T = 3563$  кл.; на каждую изъ стоекъ рамы придется:

$$N = \frac{1}{2} T = \frac{1}{2} \times 3563 = 1781,5 \text{ кл.}$$

Стойкамъ рамы дано прямоугольное сѣченіе  $30 \times 65$  мм, считая его ослабленнымъ заклепкой діаметромъ  $d = 18$  мм найдемъ:

$$\omega_{\text{netto}} = 3,0 \times 6,5 - 3,0 \times 1,8 = 14,1 \text{ см.}^2$$

Напряженіе отъ растяженія:

$$n = \frac{1781,5}{14,1} = 126,7 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2} < 750$$

При установкѣ щита рама будетъ сжиматься усилиемъ равнымъ вѣсу щита плюсъ половина вѣса подкоса. Усилие это будетъ приблизительно равно 1400 кл. Допускаемое напряженіе по формулѣ Навье:

$$R = \frac{750}{1 + 0,00008 \frac{228^2 \times 12}{3^2}} = 114,7 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2}$$

Въ дѣйствительности напряженіе будетъ:

$$n = \frac{1400}{2 \times 14,1} = 49,6 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2} < 114,7$$

Цапфамъ рамы даны размѣры: (Табл. 16, фиг. 175).

$$d = 50 \text{ мм}; l = 50 \text{ мм}; \delta = 30 \text{ мм.}$$

Напряженіе въ плоскости  $AB$  на разрывъ:

$$n = \frac{1781,5}{2 \times 3,5} = 59,7 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2} < 750.$$

III. Ось щита работаетъ на изгибъ подъ вліяніе усилія подкоса приложеннаго въ серединѣ ея длины.

Изгибающій моментъ въ ней будетъ:

$$M = \frac{S \cdot l}{4} = \frac{11224 \times 101}{4} = 283406 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}}$$

Принимая діаметръ средней заточки равнымъ  $d = 160$  мм найдемъ, что напряженіе въ среднемъ сѣченіи отъ изгиба равно:

$$n = \frac{283406}{\pi \frac{16^3}{32}} = 705 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2} < 750.$$

Напряженіе на смятіе, считая на діаметральную плоскость:

$$n = \frac{11224}{16 \cdot 8,5} = 82,6 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2} < 250.$$

При діаметрѣ заточки концовъ оси равномъ  $d = 85$  мм найдемъ, что подъ вліяніемъ момента пары, полученной отъ перенесенія давленія щита изъ середины толщины подшипника въ середину цапфы рамы, напряженіе въ концахъ оси отъ изгиба равно:

$$n = \frac{M}{W} = \frac{\frac{1}{2} Q \cdot \frac{1}{2} (12 + 5)}{\pi \frac{8,5^3}{32}} = \frac{\frac{1}{2} \times 10043 \times \frac{1}{2} \times 17}{\pi \frac{8,5^3}{32}} = 708 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2} < 750.$$

Напряженіе на смятіе:

$$n = \frac{\frac{1}{2} \times 11224}{8,5 \times 5} = 132 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2} < 250.$$



#### IV Нижній подшипникъ.

Напряжение въ шкворнѣ подшипника на смятіе при его діаметрѣ  $d = 50$  мм., считая на діаметральную плоскость:

$$n = \frac{1781,5}{5 \times 5} = 71,3 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 250.$$

Напряжение на перерѣзываніе:

$$n = \frac{1781,5}{\pi \cdot \frac{5^2}{4} \cdot 5} = 45,4 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 600.$$

Напряжение на изгибъ:

$$n = \frac{\frac{1}{4} Pl}{W} = \frac{\frac{1}{4} \times 1781,5 (5,5 + 2,5)}{\pi \cdot \frac{5^3}{32}} = 290,4 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 750.$$

Тѣло подшипника будетъ изгибаться подѣ влияніемъ усилій, передаваемыхъ рамой, и натяженія болтовъ. Величина и положеніе этихъ силъ показаны фиг. 174. Табл. 16. Наибольшій изгибающій моментъ будетъ въ серединѣ пролета и мы предположимъ, что ему сопротивляется только уголокъ заштрихованный (Табл. 16, фиг. 173).

Площадь уголка:

$$\omega = 16 \cdot 3 + 17 \cdot 3,5 = 107,5 \text{ см.}^2$$

Статическій моментъ уголка относительно оси ХХ.

$$S = \frac{3 \cdot 16^2}{2} + \frac{17 \cdot 3,5^2}{2} = 488 \text{ см.}^3.$$

Разстояніе центра тяжести сѣченія отъ оси ХХ найдемъ дѣленіемъ статическаго момента сѣченія относительно этой оси на площадь сѣченія:

$$y = \frac{S}{\omega} = \frac{488}{107,5} = 4,54 \text{ см.}$$

Моментъ инерціи сѣченія относительно горизонтальной оси, проходящей черезъ центръ тяжести:

$$I = \frac{3 \times 16^3}{3} + \frac{17 \times 3,5^3}{3} - 107,5 \times 4,54^2 = 2310 \text{ см.}^4.$$

Наибольшій изгибающій моментъ:

$$M = 1781,5 (8 + 9,25) - \frac{1}{2} \times 1781,5 \times 9,25 = 24273 \text{ к.л. см.}$$

и напряжение:

$$n = \frac{24273 \times (16 - 4,54)}{2310} = 120,4 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 750.$$

Толщину вертикальныхъ частей проверимъ на выкалываніе по плоскостямъ К и L (см. Табл. 16, фиг. 173). Напряжение будетъ:

$$n = \frac{2 \times 1781,5}{2 \times (2 \cdot 2,5 + 5) \times 6} = 29,7 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 600.$$

Болты для прикрѣпленія подшипниковъ къ флютбету приняты діаметромъ  $d = 30$  мм. Напряжение въ нихъ отъ растяженія:

$$n = \frac{1781,5}{\pi \cdot \frac{3^2}{4}} = 252 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 750.$$

Свое усиліе болты передаютъ кладкѣ флютбета при помощи круглыхъ чугунныхъ дисковъ. Діаметръ ихъ  $D = 180$  мм., а діаметръ отверстія для болта  $d = 32$  мм.



При этихъ размѣрахъ напряженіе въ камнѣ на раздробленіе:

$$n = \frac{1781,5}{\frac{\pi}{4}(18^2 - 3,2^2)} = 7,2 \frac{\text{к.л.}}{\text{см}^2} < 8.$$

Толщину дисковъ проверимъ на изломъ по діаметральной плоскости, считая что реакція каменной кладки распределена равномерно по площади диска.

Разстояніе центра давленія на половину диска отъ центра диска:

$$k = \frac{4}{2 \times 3,14} \cdot \frac{18^2 - 3,2^2}{18^2 - 3,2^2} = 3,022 \text{ см.}$$

Изгибающій моментъ въ діаметральномъ сѣченіи:

$$M = \frac{1}{2} \times 1781,5 \times 3,022 = 3493 \text{ к.л. см.}$$

Моментъ сопротивленія:

$$W = \frac{(18 - 3,2) \times 2,5^2}{6} = 15,4 \text{ см}^3.$$

Напряженіе отъ изгиба:

$$n = \frac{3493}{15,4} = 226,9 \frac{\text{к.л.}}{\text{см}^2} < 250.$$

### § 5 Щитъ.

Щитъ спроектированъ изъ двухъ продольныхъ вертикальныхъ швеллеровъ и поперечныхъ, приклепанныхъ къ нимъ такъ, что верхнія полки ихъ находятся въ одной плоскости. Къ этимъ полкамъ приклепана обшивка изъ листового желѣза. Въ верхней части щита сдѣлана калитка высотой 1,08 м., вращающаяся на горизонтальной оси. Для прикрѣпленія обшивки и склепки отдѣльныхъ частей щита приняты заклепки діаметромъ  $d = 16 \text{ м.м.}$

Продольные швеллеры работаютъ какъ балка на двухъ опорахъ со свѣшеннымъ концомъ. Наибольшій изгибающій моментъ будетъ въ точкѣ  $H$  (Табл. 16, фиг. 177) подъ вліяніемъ нагрузки, выражающейся площадью трапеціи  $AHPS$ .

Изгибающій моментъ для одного швеллера:

$$M = \frac{1}{2} \times 1000 \times 1,30 \times \frac{0,45 + 2,47}{2} \times 2,15 \times \frac{2,47 + 2,045}{2,47 + 0,45} \cdot \frac{2,15}{3} = 1687,6 \text{ к.л. см.}$$

Примемъ сѣченіе швеллера № 23 $\frac{1}{2}$ , считая его ослабленнымъ двумя отверстіями, для заклепки діаметромъ 16 м.м. и для болта діаметромъ  $d = 25 \text{ м.м.}$ , какъ показано на фиг. 178 Табл. 16 Моментъ инерціи швеллера относительно оси  $x$ :

$$I_x^{\text{brutto}} = 3508,5 \text{ см}^4.$$

Ослабленіе отверстіями:

$$i = 1,2 (2,5 + 1,6) (11,75 - 0,6)^2 + \frac{(2,5 + 1,6) 1,3^3}{12} = 696,5 \text{ см}^4.$$

$$I_{\text{netto}} = 3508,5 - 696,5 = 2812 \text{ см}^4.$$

Напряженіе въ крайнемъ волокнѣ:

$$n = \frac{168760 \times 11,75}{2812} = 705,2 \frac{\text{к.л.}}{\text{см}^2} < 750.$$

Поперечные элементы спроектированы изъ швеллеровъ, работающихъ, какъ свободно лежащія балки, на двухъ опорахъ, подъ вліяніемъ давленія воды, передаваемого обшивкою. Въ худшихъ условіяхъ будутъ находиться нижній швеллеръ  $C$  и швеллеръ  $F$ . Величину равномерной нагрузки на швеллеръ  $C$  опредѣлимъ, какъ сумму давленій въ точкѣ  $C$  отъ нагрузокъ выраженныхъ площадями трапецій  $DCLM$  и  $CBIL$  (Табл. 16, фиг. 177).

$$p = 0,001 \left\{ \frac{\frac{1}{2}(365 + 404) \times 42}{42} \cdot \frac{365 + 2 \times 404}{365 + 404} \cdot \frac{42}{3} + \frac{\frac{1}{2}(404 + 449) \times 48}{48} \cdot \frac{2 \times 404 + 449}{404 + 449} + \frac{48}{3} \right\} = 18,26 \frac{\text{к.л.}}{\text{п.см.}}$$

Изгибающій моментъ въ серединѣ пролета:

$$M_c = \frac{p l^2}{8} = \frac{18,26 \cdot 11,2^2}{8} = 28632 \text{ к.л. см.}$$



Опорная реакція:

$$Q_c = \frac{pl}{2} = \frac{18,26 \cdot 112}{2} = 1023 \text{ кл.}$$

Швеллеръ  $F$  нагруженъ равномерной нагрузкой, передающейся отъ панели  $EF$  и отъ панели  $EG$ , кромѣ того въ серединѣ длины онъ воспринимаетъ давленіе швеллера  $FG$ . Величины равномерныхъ нагрузокъ мы найдемъ какъ реакціи кромокъ, опирающихся по всему периметру плитъ, за которыя мы будемъ считать обшивку, по формуламъ:

$$p_1 = \frac{\gamma ab (3ah + bh + ab)}{2(a+b)(b+3a)} \text{ для реакціи отъ панели } EF.$$

$$p_2 = \frac{\gamma a_1 b_1 (3a_1 h_1 + b_1 h_1 + 2a_1 b_1 + b_1^2)}{2(a_1 + b_1)(b_1 + 3a_1)} \text{ для реакціи отъ панели } FG \text{ и}$$

$$p_3 = \frac{\gamma a_1 b_1 (3a_1 h_1 + b_1 h_1 + a_1 b_1)}{2(a_1 + b_1)(b_1 + 3a_1)} \text{ для реакціи отъ панели } FG \text{ на швеллеръ } G.$$

(См. Акуловъ и Прокофьевъ „Матеріалы для проектированія камерныхъ шлюзовъ“ § 40).

Въ этихъ формулахъ  $a$ —ширина,  $b$ —высота плиты,  $h$ —высота воды надъ верхомъ плиты и  $\gamma$ —вѣсъ куб. метра воды. Для нашего случая наклонной обшивки подъ угломъ  $\alpha = 20^\circ$  къ вертикали въ этихъ формулахъ, выведенныхъ для вертикальной обшивки слѣдуетъ умножить величины:  $ab$ ,  $2a_1 b_1$ ,  $b^2$  и  $a_1 b_1$  на  $\cos \alpha$  \*).

Мы имѣемъ:

$$a = 121 \text{ см.}; b = 42; h = 286; a_1 = \frac{121}{2} = 60,5; b_1 = 82; h_1 = 209.$$

Подставивъ въ формулы, получимъ:

$$p_1 = \frac{0,001 \times 42 \times 121 (3 \times 121 \times 286 + 286 \times 42 + 121 \times 42 \cdot \cos 20^\circ)}{2(121 + 42)(42 + 3 \times 121)} = 4,64 \frac{\text{к.л.}}{\text{п. см.}}$$

$$p_2 = \frac{0,001 \times 60,5 \times 82 (3 \times 60,5 \times 209 + 82 \times 209 + 2 \times 60,5 \times 82 \times \cos 20^\circ + 82^2 \cdot \cos 20^\circ)}{2(60,5 + 82)(82 + 3 \times 60,5)} = 4,67 \text{ п. } \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}}$$

$$p_3 = \frac{0,001 \times 60,5 \times 82 (3 \times 60,5 \times 209 + 82 \times 209 + 60,5 \times 82 \cdot \cos 20^\circ)}{2(60,5 + 82)(82 + 3 \times 60,5)} = 3,95 \frac{\text{к.л.}}{\text{п. см.}}$$

Равномерная нагрузка на швеллеръ  $F$ :

$$p = p_1 + p_2 = 4,64 + 4,67 = 9,31 \frac{\text{к.л.}}{\text{п. см.}}$$

Опорная реакція швеллера  $FG$ :

$$P = 2 \left\{ \frac{1/2 (p_2 + p_3) \times 82}{82} \cdot \frac{2p_2 + p_3}{p_2 + p_3} \cdot \frac{82}{3} \right\} = 2 \frac{1/2 (4,67 + 3,95) \times 82}{82} \cdot \frac{2 \times 4,67 + 3,95}{4,67 + 3,95} \cdot \frac{82}{3} = 363 \text{ кл.}$$

Изгибающій моментъ въ швеллерѣ  $F$ :

$$M_F = \frac{pl^2}{4} + \frac{Pl}{2} = \frac{9,31 \times 112^2}{8} + \frac{363 \times 112}{4} = 24780 \text{ кл. см.} < M_c.$$

Опорная реакція:

$$Q_F = \frac{pl}{2} + \frac{P}{2} = \frac{9,31 \cdot 112}{2} + \frac{363}{2} = 703 \text{ кл.} < Q_c.$$

Такимъ образомъ мы видимъ, что въ наихудшихъ условіяхъ будетъ находиться нижній швеллеръ  $C$ , для котораго и подберемъ сѣченіе, сохранивъ его и для остальныхъ швеллеровъ. Принявъ швеллеръ № 10 и считая его ослабленнымъ заклепочными отверстиями, какъ показано на фиг. 179, Табл. 16, получимъ:

$$I_x^{\text{brutto}} = 213,2$$

Ослабленіе заклепками:

$$i = 2 \left( 0,6 \times 1,6 \times 2,5^2 + \frac{0,6 \times 1,6^3}{12} \right) = 12,2 \text{ см.}^4$$

$$I_x^{\text{netto}} = 213,2 - 12,2 = 201 \text{ см.}^4.$$

Напряженіе отъ изгиба:

$$n = \frac{M}{I} = \frac{28632 \times 5}{201} = 701,2 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 750.$$

\*) См. стр. 93.



Число заклепок для прикрѣпленія найдемъ по опорной реакціи:

$$N = \frac{Q}{\frac{\pi d^2}{4} \cdot R_s} = \frac{1023}{\pi \cdot \frac{1,62}{4} \cdot 600} = 1,1 \text{ принято } 2.$$

Обшивка.

Разсчетъ обшивки ведемъ въ предположеніи, что она работаетъ какъ плита, опирающаяся по всему периметру. Толщина обшивки находится по формулѣ. (См. *Акуловъ и Прокофьевъ* „Матеріалы для проектированія камерныхъ шлюзовъ“ § 40):

$$\delta = 0,1 + 0,0005 ab \sqrt{\frac{2h+b}{a^2+b^2}}$$

Здѣсь  $a$ —ширина,  $b$ —высота плиты,  $h$ —высота воды надъ верхнимъ краемъ плиты. Въ нашемъ случаѣ наклонной обшивки подъ угломъ  $\alpha = 20^\circ$  къ вертикали величину  $b$ , стоящую въ числитель подкоренного количества, слѣдуетъ умножить на  $\cos 20^\circ$ , такъ какъ формула выведена для вертикальнаго положенія обшивки \*\*).

Для второй снизу панели имѣемъ:

$$a = 112 \text{ см. ; } b = 39,5 \text{ см. ; } h = 367,8 \text{ см.}$$

Подставивъ въ формулу, получимъ:

$$\delta = 0,1 + 0,0005 \times 112 \times 39,5 \sqrt{\frac{2 \times 367,8 + 39,5 \cdot \cos 20^\circ}{112^2 + 39,5^2}} = 0,61 \text{ см.}$$

Для средней панели имѣемъ:

$$a = 53,25 ; b = 76,5 ; h = 211,8 \text{ Тогда:}$$

$$\delta = 0,1 + 0,0005 \times 53,25 \times 76,5 \sqrt{\frac{2 \times 211,8 + 76,5 \cdot \cos 20^\circ}{53,25^2 + 76,5^2}} = 0,59 \text{ см.}$$

Толщина обшивки принята равной  $\delta = 6^{\text{м}}/\text{м}$ .

Калитка сдѣлана изъ уголковъ  $80 \times 80 \times 8$  обшитыхъ листовымъ желѣзомъ. Разстояніе  $r$  отъ низа калитки до оси вращенія взято такъ, чтобы при горизонтѣ воды, совпадающемъ съ верхомъ щита, равнодѣйствующая давленія воды проходила черезъ ось вращенія. Такимъ образомъ.

$$r = \frac{108}{3} \cdot \frac{2 \times 18,8 + 120,3}{18,8 + 120,3} = 40,9 \text{ см.}$$

Наибольшій изгибающій моментъ въ уголкахъ будетъ въ сѣченіи, проходящемъ черезъ ось вращенія. Моментъ для одного уголка:

$$M = \frac{1}{2} \times 0,001 \times 112 \left( \frac{126,9 + 165,3}{2} \cdot 40,9 \cdot \frac{2 \times 165,3 + 126,9}{165,3 + 126,9} \cdot \frac{40,9}{3} \right) = 7270 \text{ кл. см.}$$

Для уголка  $80 \times 80 \times 8$ , ослабленнаго отверстіемъ для оси калитки какъ показано на фиг. 180. Табл. 16 имѣемъ:

$$I_x^{\text{brutto}} = 72,5 \text{ см}^4.$$

Ослабленіе отверстіемъ:

$$i = 0,8 \times 2,5 (4,0 - 2,25)^2 = \frac{0,8 \times 2,5^3}{12} = 7,2 \text{ см}^4.$$

$$I_x^{\text{netto}} = 72,5 - 7,2 = 65,3 \text{ см}^4.$$

Напряженіе въ крайнемъ волокнѣ:

$$n = \frac{7270 \times 5,75}{65,3} = 640 \frac{\text{кл.}}{\text{см}^2} < 750.$$



Ось налитки сдѣлана изъ болтового желѣза діаметромъ  $d=25$  мм. Давленіе на ось опредѣлится, если моментъ нагрузки относительно точки  $C$  раздѣлить на длину  $CF=108-40,9=67,1$  см.:

$$F = \frac{0,001 \cdot 112}{67,1} \left( \frac{63,8 + 165,3}{2} \cdot 108 \cdot \frac{63,8 + 2 \cdot 165,3}{63,8 + 165,3} \cdot \frac{108}{3} \right) = 1280 \text{ кл.}$$

Напряженіе въ оси на смятіе:

$$n = \frac{1280}{2 \times 2,5 \times 0,8} = 230 \frac{\text{кл.}}{\text{см}^2} < 1500.$$

Напряженіе на перерѣзываніе:

$$n = \frac{1280}{2 \pi \frac{2,5^2}{4}} = 130 \frac{\text{кл.}}{\text{см}^2} < 600.$$

Напряженіе отъ изгиба:

$$n = \frac{M}{W} = \frac{\frac{1}{2} \times 1280 \left( \frac{1,0}{2} + 0,2 + \frac{0,8}{2} \right)}{\pi \frac{2,5^3}{32}} = 438 \frac{\text{кл.}}{\text{см}^2} < 750.$$

Обшивна налитки сдѣлана изъ листового желѣза. Толщину ея опредѣлимъ такъ же, какъ и толщину обшивки щита. Для расчета имѣемъ:

$$h = 63,8 + 8 \cos 20^\circ = 71,6 \text{ см.}; a = 44 \text{ см. } b = 92 \text{ см.}$$

Подставивъ въ формулу, получимъ:

$$\delta = 0,1 + 0,0005 \times 44 \times 92 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 71,6 + 92 \cdot \cos 20^\circ}{44^2 + 92^2}} = 0,403$$

Толщина обшивки принята равной  $\delta = 4$  мм.

## § 6 Упорная коробка.

Коробка спроектирована по типу коробки *Паско*. Въ коробкѣ провѣримъ расчетомъ слѣдующіе размѣры: толщину упорнаго выступа, толщину и высоту ребордъ. Толщину упорнаго выступа провѣримъ, предполагая, что онъ закрѣпленъ только по двумъ вертикальнымъ плоскостямъ. Напряженіе въ этихъ плоскостяхъ на скалываніе:

$$n = \frac{11224}{2 \times 9 \times 6} = 104 \frac{\text{кл.}}{\text{см}^2} < 200.$$

Изгибающій моментъ въ плоскости задѣлки отъ сосредоточеннаго груза, приложеннаго въ серединѣ пролета:

$$M = \frac{Pl}{8} = \frac{11224 \times 9}{8} = 12626 \text{ кл. см.}$$

Напряженіе отъ изгиба:

$$n = \frac{12626 \times 6}{9 \times 6^2} = 234 \frac{\text{кл.}}{\text{см}^2} < 250.$$

Реборды коробки провѣримъ на скалываніе по плоскости задѣлки и на давленіе, передаваемое кладкѣ флютбета.

Усиліе подкоса  $S$ , направленное подъ угломъ  $\mu = 38^\circ 13'$  къ горизонту, разложимъ на вертикальную и горизонтальную составляющія. Подъ вліяніемъ первой разовьется сила тренія, которая уменьшитъ движущую силу. Сила тренія выразится такъ:

$F = \varphi N$  гдѣ  $\varphi = 0,42$ —коэффициентъ тренія для чугуна по камню, а  $N = S \cdot \sin \mu$ , откуда:

$$F = 0,42 \times 11224 \cdot \sin 38^\circ 13' = 2916 \text{ кл.}$$

Горизонтальная составляющая:  $P = 11224 \cdot \cos 38^\circ 13' = 8818 \text{ кл.}$



Движущая сила:  $R = P - F = 8818 - 2916 = 5902$  кл.

Напряженіе въ реборахъ на скалываніе по плоскости задѣлки:

$$n = \frac{5902}{(30 + 31 + 37 + 25 + 19) \times 4} = 10,4 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2} < 200.$$

Напряженіе въ камнѣ на раздробленіе:

$$n = \frac{5902}{(30 + 31 + 37 + 25 + 19) \times 5,5} = 7,6 \frac{\text{кл.}}{\text{см.}^2} < 8.$$

### § 7. Порогъ плотины.

Порогъ плотины образованъ деревяннымъ брусомъ  $25 \times 32$  см., который удерживается вертикальными швеллерами, задѣланными въ кладку. Съ этими швеллерами брусъ скрѣпляется болтами діаметромъ  $d = 25$  мм. и кромѣ того онъ прикрѣпленъ къ флютбету заершенными болтами также діаметромъ  $d = 25$  мм. На каждый щитъ приходится по два швеллера и по два заершенныхъ болта.

Давленіе отъ щита на порогъ равно: 3764 кл. и направлено подъ угломъ  $\alpha = 20^\circ$  къ горизонту, слѣдовательно горизонтальная составляющая этого давленія равна:

$$N = 3764 \cos 20^\circ = 3537 \text{ кл.}$$

Эту силу мы и будемъ считать приложенной къ швеллеру. Наибольшій изгибающій моментъ въ швеллерѣ имѣетъ мѣсто въ точкѣ  $M$  (фиг. 185. Табл. 16). Онъ будетъ равенъ для одного швеллера:

$$M = \frac{1}{2} \times 3537 \times 10 = 17685 \text{ кл. см.}$$

Для опредѣленія наибольшаго давленія на кладку перенесемъ силу  $N$  въ середину задѣланнаго конца швеллера, но для этого нужно прибавить пару съ моментомъ:

$$M_n = N \left( \frac{d}{2} + a \right).$$

Подъ вліяніемъ силы  $N'$  разовьется реакція кладки, которая выразится площадью прямоугольника  $MALF$  съ ординатою:  $MA = y_1 = - \frac{N_1}{d}$ .

Отъ дѣйствія пары получимъ реакцію кладки въ формѣ двухъ  $\triangle$ -ковъ —  $ABC$  и  $CKL$ , равныхъ по величинѣ, но разныхъ по знаку. Статическій моментъ этихъ треугольниковъ, относительно любой точки, долженъ быть равенъ моменту пары  $M_n$ . Возьмемъ моментъ ихъ относительно точки  $C$ . Тогда получимъ, обозначивъ  $AB$  черезъ  $y_2$ :

$$M_n = 2 \left( \frac{1}{2} \cdot y_2 \cdot \frac{d}{2} \cdot \frac{2}{3} d \right) = \frac{1}{6} y_2 d^2,$$

или, подставивъ вмѣсто  $M_n$  его значеніе:  $N \left( \frac{d}{2} + a \right)$ , получимъ:

$$N \left( \frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{6} y_2 d^2, \text{ откуда:}$$

$$y_2 = \frac{6N}{d^2} \left( \frac{d}{2} + a \right).$$

Наибольшая ордината  $MB$  будетъ равна:

$$MB = y = y_1 + y_2 = \frac{N}{d} + \frac{6N}{d^2} \left( \frac{d}{2} + a \right) = \frac{N}{d} \left[ 1 + \frac{6}{d} \left( \frac{d}{2} + a \right) \right].$$

Подставивъ числовыя данныя, получимъ для одного швеллера:

$$y = \frac{1}{2} \cdot \frac{3537}{70} \left[ 1 + \frac{6}{70} \left( \frac{70}{2} + 10 \right) \right] = 129,8 \text{ кл.}$$



При швеллерѣ № 18 напряженіе въ немъ отъ изгиба будетъ:

$$n = \frac{17685 \times 4,99}{121} = 731,2 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 750.$$

Напряженіе въ кладкѣ на раздробленіе:

$$n = \frac{129,8}{18} = 7,2 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 8.$$

Болты для прикрѣпленія бруса къ швеллерамъ приняты діаметромъ  $d = 25$  m.m. Напряженіе въ нихъ отъ растяженія:

$$n = \frac{3537}{2,2 \frac{2,5^2}{4}} = 360,4 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 750.$$

Болты воспринимаютъ давленіе отъ бруса при помощи шайбъ діаметромъ  $d = 120$  m.m. и толщиною 10 m.m. Напряженіе въ деревѣ на смятіе:

$$n = \frac{3537}{2,2 \frac{(12^2 - 2,5^2)}{4}} = 16,8 \frac{\text{к.л.}}{\text{см.}^2} < 20.$$

Къ стр. 89.

Обшивка разсматривается какъ плита, опирающаяся по всему периметру, причемъ закрѣпленіе заклепками во вниманіе не принято. Для разчета примѣняемъ приближенный способъ Баха. Въ нашемъ случаѣ плита прямоугольная, ширина ея —  $a$ , высота —  $b$ , уголъ наклона къ вертикали —  $\alpha$  и глубина воды надъ верхомъ плиты —  $h$ .

Полное давленіе на плиту равно (см. Табл. 16, фиг. 186):

$$P = \gamma a \left[ \frac{h + (h + b \cos \alpha)}{2} \right] b = \gamma ab \left( h + \frac{b \cos \alpha}{2} \right).$$

Въ дальнѣйшемъ будемъ держаться предположенія, что реакціи горизонтальныхъ кромокъ постоянны по длинѣ ихъ, а реакціи вертикальныхъ возрастаютъ по закону прямой. Обозначивъ реакцію верхней кромки на единицу длины черезъ —  $\delta_0$ , а для нижней черезъ —  $\delta_1$  найдемъ, что для точки вертикальной кромки, отстоящей на величину —  $z$  отъ верха плиты, реакція выражается:

$$\delta = \delta_0 + z \left( \frac{\delta_1 - \delta_0}{b} \right).$$

Для опредѣленія  $\delta_0$  и  $\delta_1$  приравняемъ нулю сумму всѣхъ силъ, дѣйствующихъ перпендикулярно къ плитѣ, а также и моментъ этихъ силъ относительно грани  $CD$ . Получимъ:

$$P = \delta_0 a + \delta_1 a + 2 \frac{\delta_0 + \delta_1}{2} \cdot b = \delta_0 (a + b) + \delta_1 (a + b).$$

Подставивъ вмѣсто  $P$  его значеніе, получимъ:

$$\gamma ab \left( h + \frac{b \cos \alpha}{2} \right) = \delta_0 (a + b) + \delta_1 (a + b) \dots \dots \dots (1)$$

Приравнивая нулю моментъ всѣхъ силъ, получимъ:

$$\delta_0 a \cdot b + 2 \left[ \frac{\delta_0 + \delta_1}{2} \cdot b \frac{2\delta_0 + \delta_1}{\delta_0 + \delta_1} \cdot \frac{b}{3} \right] = Pz = \gamma ab \left( h + \frac{b \cos \alpha}{2} \right) \frac{2h + (h + b \cos \alpha)}{h + (h + b \cos \alpha)} \cdot \frac{b}{3}$$

или:

$$\delta_0 ab + \frac{b^2(2\delta_0 + \delta_1)}{3} = \gamma ab \frac{(3h + b \cos \alpha)b}{2 \cdot 3}, \text{ откуда:}$$

$$\delta_0 \left( a + \frac{2}{3} b \right) + \delta_1 \frac{b}{3} = \gamma \frac{ab}{2} \left( h + \frac{b \cos \alpha}{3} \right) \dots \dots \dots (2)$$



Рѣшая ур-ія (1) и (2) находимъ:

$$\delta_0 = \frac{\gamma ab(3ah + bh + abcsa)}{2(a+b)(3a+b)}$$

$$\delta_1 = \frac{\gamma ab(3ah + 2abcsa + bh + b^2csa)}{2(a+b)(3a+b)}.$$

Этими формулами мы и пользовались на стр. 89. Идя дальше, опредѣлимъ равнодѣйствующія реакцій кромокъ. Для кромки  $AB$ :

$$D_0 = a\delta_0 = \frac{\gamma a^2 b(3ah + bh + abcsa)}{2(a+b)(3a+b)}.$$

Для кромки  $CD$ :

$$D_1 = a\delta_1 = \frac{\gamma a^2 b(3ah + bh + 2abcsa + b^2csa)}{2(a+b)(3a+b)}.$$

Реакціи на вертикальныя кромки разложимъ каждую на двѣ составляющія; одна изъ нихъ:

$$D_2 = \delta_0 b$$

и приложена въ серединѣ кромки, а другая:

$$D_3 = \frac{\delta_1 - \delta_0}{2} \cdot b$$

приложена на разстояніи  $\frac{1}{3}b$  отъ грани  $DC$ .

Предположивъ, что наибольшее напряженіе будетъ въ діагональномъ сѣченіи  $BD$ , найдемъ моменты всѣхъ силъ относительно этого сѣченія.

Плечо силы  $D_1$  равно:

$$m = \frac{a}{2} \cdot \cos \beta = \frac{ab}{2\sqrt{a^2 + b^2}}$$

моментъ ея:

$$D_1 m = a\delta_1 \frac{ab}{2\sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{\gamma a^3 b^2 (3ah + bh + 2abcsa + b^2csa)}{4\sqrt{a^2 + b^2}(a+b)(3a+b)}.$$

Плечо силы  $D_2$ :

$$k = m = \frac{ab}{2\sqrt{a^2 + b^2}}.$$

Моментъ силы  $D_2$ :

$$D_2 k = \frac{\delta_0 ab^2}{2\sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{\gamma a^2 b^3 (3ah + bh + abcsa)}{4\sqrt{a^2 + b^2}(a+b)(3a+b)}.$$

Плечо силы  $D_3$ :

$$l = \frac{2}{3} \cdot b \sin \beta = \frac{2ab}{3\sqrt{a^2 + b^2}}.$$

Моментъ ея:

$$D_3 l = \frac{\delta_1 - \delta_0}{2} \cdot \frac{2}{3} \frac{ab^2}{\sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{\gamma a^2 b^3 \cdot b(a+b)csa}{6\sqrt{a^2 + b^2}(a+b)(3a+b)} = \frac{\gamma a^2 b^4 \cdot csa}{6\sqrt{a^2 + b^2}(3a+b)}.$$

Нагрузку на  $\triangle$ -къ  $BCD$  разобьемъ на двѣ части, одну равномерно распределенную по площади:  $p = \gamma h$  и другую, увеличивающуюся по закону прямой отъ точки  $B$  къ кромкѣ  $DC$ . Равнодѣйствующая первой равна  $\frac{p \cdot ab}{2}$  и приложена въ центрѣ тяжести  $\triangle$ -ка  $BCD$ . Плечо ея равно:

$$S = \frac{a}{3} \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}}.$$

Моментъ ея:

$$M_1 = \frac{\gamma h a^2 b^3}{6\sqrt{a^2 + b^2}}.$$